

7/023-US
KSC/mk
✓

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 2月12日
Date of Application:

出願番号 特願2003-034098
Application Number:

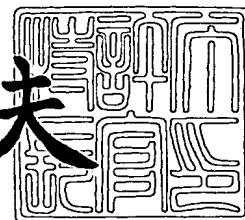
[ST. 10/C]: [JP 2003-034098]

出願人 株式会社デンソー
Applicant(s):

2003年12月 1日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3099013

【書類名】 特許願

【整理番号】 PY20022436

【提出日】 平成15年 2月12日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 29/84

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

 【氏名】 小野田 邦広

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

 【氏名】 西川 英昭

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

 【氏名】 吉岡 テツヲ

【特許出願人】

 【識別番号】 000004260

 【氏名又は名称】 株式会社デンソー

【代理人】

 【識別番号】 100068755

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 恩田 博宣

【選任した代理人】

 【識別番号】 100105957

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 恩田 誠

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 002956

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9908214

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 静電アクチュエータおよびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 シリコン基板（11）の上に埋込み絶縁膜（12）を介して薄膜シリコン層（13）を形成した積層基板（10）を用い、前記薄膜シリコン層（13）により捩じり梁構造の可動構造体（Em）が構成され、この可動構造体（Em）における可動側櫛歯電極（18a, 18b）と、当該可動側櫛歯電極（18a, 18b）に対向するように配置した固定側櫛歯電極（25a, 25b）との間に電位差を生じさせて前記可動構造体（Em）を揺動させるようにした静電アクチュエータであって、

前記積層基板（10）を貫通する貫通孔（15）の内部に固定側櫛歯電極（25a, 25b）を形成したことを特徴とする静電アクチュエータ。

【請求項 2】 固定側櫛歯電極（25a, 25b）は金属またはポリシリコンよりなることを特徴とする請求項 1 に記載の静電アクチュエータ。

【請求項 3】 一对の可動側および固定側櫛歯電極（50, 51）を 3 つ以上設けたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の静電アクチュエータ。

【請求項 4】 可動側櫛歯電極（50）を、可動構造体（Em）の捩じり梁（16a, 16b）に設けたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の静電アクチュエータ。

【請求項 5】 可動側櫛歯電極において並設した歯（60）と、可動構造体（Em）の捩じり梁（16a, 16b）とを同一方向に延設し、かつ、可動側櫛歯電極において並設した歯（60）の長さを捩じり梁（16a, 16b）の長さの半分以上としたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の静電アクチュエータ。

【請求項 6】 前記貫通孔（15）の内部に形成した固定側櫛歯電極において並設した歯（X1, X2, X3）は、上下方向における中心位置が異なっていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の静電アクチュエータ。

【請求項 7】 シリコン基板（11）の上に埋込み絶縁膜（12）を介して薄膜シリコン層（13）を形成した積層基板（10）を用い、前記薄膜シリコン

層(13)により捩じり梁構造の可動構造体(E_m)が構成され、この可動構造体(E_m)における可動側櫛歯電極(18a, 18b)と、当該可動側櫛歯電極(18a, 18b)に対向するように配置した固定側櫛歯電極(25a, 25b)との間に電位差を生じさせて前記可動構造体(E_m)を揺動させるようにした静電アクチュエータの製造方法であって、

支持基板(1)の上に積層基板(10)を配置する工程と、

積層基板(10)における固定側櫛歯電極の形成領域に当該積層基板(10)を貫通する貫通孔(22a, 22b)を形成するとともに、この貫通孔(22a, 22b)に、固定側櫛歯電極となる導電性材料(24)を充填する工程と、

積層基板(10)における可動構造体の形成領域の周囲の薄膜シリコン層(13)および埋込み絶縁膜(12)をトレンチエッチングにて除去する工程と、

前記可動構造体の形成領域におけるシリコン基板(11)をエッチング除去する工程と、

を有することを特徴とする静電アクチュエータの製造方法。

【請求項8】 シリコン基板(11)の上に埋込み絶縁膜(12)を介して薄膜シリコン層(13)を形成した積層基板(10)を用い、前記薄膜シリコン層(13)により捩じり梁構造の可動構造体(E_m)が構成され、この可動構造体(E_m)における可動側櫛歯電極(18a, 18b)と、当該可動側櫛歯電極(18a, 18b)に対向するように配置した固定側櫛歯電極(25a, 25b)との間に電位差を生じさせて前記可動構造体(E_m)を揺動させるようにした静電アクチュエータの製造方法であって、

支持基板(1)の上に積層基板(10)を配置する工程と、

積層基板(10)における固定側櫛歯電極の形成領域に当該積層基板(10)を貫通する貫通孔(22a, 22b)を形成するとともに、この貫通孔(22a, 22b)の側壁に保護膜(23)を形成し、さらに、その内方に、固定側櫛歯電極となる導電性材料(24)を充填する工程と、

積層基板(10)における可動構造体の形成領域の周囲の薄膜シリコン層(13)および埋込み絶縁膜(12)をトレンチエッチングにて除去する工程と、

前記可動構造体の形成領域におけるシリコン基板(11)を、前記保護膜(2

3) をエッチングストッパとして用いたエッチングにて除去する工程と、
を有することを特徴とする静電アクチュエータの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、静電アクチュエータに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光スキャナにおけるスキャニングミラーの駆動原理においては、CMOSプロセスとの整合性の高い静電駆動型が主流である。静電アクチュエータは、図30に示す対向電極型の駆動方式と、図31に示す櫛歯電極型の駆動方式に分けられる。図30において、ミラー（質量部）100は捩じり梁101に連結され、ミラー（質量部）100での可動側対向電極102に対して固定側対向電極103が対向配置されている。図31において、ミラー（質量部）110は捩じり梁111に連結され、ミラー（質量部）110での可動側櫛歯電極112に対して固定側櫛歯電極113が対向するように配置されている。しかし、ミラー面を構成する材料には平坦性や平滑性の面から単結晶シリコンが望ましく、その場合、図30の対向電極型の駆動方式は工程が複雑になり、図31の櫛歯電極型が望ましい。

【0003】

図31の櫛歯電極を用いた静電駆動型マイクロスキャナにおいて、駆動力は固定側櫛歯電極と可動側櫛歯電極との間の電位差から生じる静電引力であり、回転力を与えるためには両電極に高度差を設ける必要がある。つまり、このときの最大変位は電極高度差分となる。

【0004】

一方、図32に示すように、シリコン基板120の上にシリコン酸化膜121、薄膜シリコン層122、シリコン酸化膜123、金属膜124を順に形成した構造体を用いて、金属膜124を電極として形成する場合がある。この場合には、薄膜シリコン層122にて可動側櫛歯電極が構成されるとともに、金属膜12

4にて固定側櫛歯電極が構成される。

【0005】

ここで、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との高度差は、次のようになる。

図33において、薄膜シリコン層122の厚さを T_s 、シリコン酸化膜123の厚さを T_o 、金属膜124の厚さを T_m とすると、電極高度差は、

$$\{(T_s + T_w) / 2\} + T_o$$

となる。

【0006】

このように、電極高度差は薄膜シリコン層122の膜厚 T_s で限定され、大きな変位（スキャン角度）が得られない。

詳しくは以下の通りである。可動側櫛歯電極を薄膜シリコン層122とするとともに、固定側櫛歯電極を薄膜シリコン層122の上に酸化膜123を介して形成した金属膜124とした場合、その高度差は両電極の中心点の高度差となる。そして、例えば、薄膜シリコン層（ミラー）122の厚さ T_s は $10\mu\text{m}$ 、シリコン酸化膜123と金属膜124の厚さ T_o 、 T_m をそれぞれ $1\mu\text{m}$ としても、電極高度差は $6.5\mu\text{m}$ となる。ミラー部（薄膜シリコン層）の縦横サイズを $1000\mu\text{m}$ とした場合、最大変位は $\tan^{-1}(6.5/500) = 0.74^\circ$ となり、スキャン角度としてはその2倍の 1.5° が限界である。

【0007】

一方、共振を用いると、大きな変位を得ることができるが、この場合には、共振周波数における共振駆動に動作が限定される。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

本発明はこのような背景の下になされたものであり、その目的は、可動構造体の揺動（振れ角）を大きくすることができる静電アクチュエータおよびその製造方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】

請求項1に記載の発明によれば、以下のような作用・効果を奏する。

(i) 積層基板の薄膜シリコン層にて可動側櫛歯電極を構成するとともに積層基板の薄膜シリコン層の上に固定側櫛歯電極を形成する場合と、

(ii) 積層基板の薄膜シリコン層にて可動側櫛歯電極を構成するとともに、積層基板を貫通する貫通孔の内部に固定側櫛歯電極を形成する場合と、を比較する。

【0010】

(i) に比べ (ii) の方が、上下方向における可動側櫛歯電極の中心位置と固定側櫛歯電極の中心位置との差を大きくすることが可能となり、可動構造体の揺動（振れ角）を大きくすることができる。

【0011】

請求項2に記載のように、前記固定側櫛歯電極は金属またはポリシリコンよりなるものとするとい。

請求項3に記載のように、一対の可動側および固定側櫛歯電極を3つ以上設けると、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を大きくすることができる。

【0012】

請求項4に記載のように、可動側櫛歯電極を、可動構造体の捩じり梁に設けるようにすると、振れ角に対する櫛歯電極の変位量を小さくして振れ角を大きくすることが可能となる。

【0013】

請求項5に記載のように、可動側櫛歯電極において並設した歯と、可動構造体の捩じり梁とを同一方向に延設し、かつ、可動側櫛歯電極において並設した歯の長さを捩じり梁の長さの半分以上にすると、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を大きくすることができる。

【0014】

請求項6に記載のように、前記貫通孔の内部に形成した固定側櫛歯電極において並設した歯は、上下方向における中心位置が異なっていると、可動側櫛歯電極が揺動した際（振れた際）の可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を強くすることができる。

**【0015】**

請求項 7, 8 に記載の発明によれば、請求項 1 に記載の静電アクチュエータを製造することが可能となる。

特に、請求項 8 に記載の発明によれば、保護膜をエッチングストッパとして用いることにより、エッチングから固定側櫛歯電極となる導電性材料が保護される。

【0016】**【発明の実施の形態】**

以下、この発明を具体化した実施の形態を図面に従って説明する。

図 1 には、本実施形態における静電アクチュエータとしての光スキャナの平面図を示す。図 1 の A-A 線での縦断面を図 2 に、図 1 の B-B 線での縦断面を図 3 に、図 1 の C-C 線での縦断面を図 4 に、図 1 の D-D 線での縦断面を図 5 に、それぞれ示す。

【0017】

本実施形態においては、図 2 等に示すように、支持基板 1 の上に積層基板 10 を接合したものをを用いている。支持基板 1 はシリコン基板 2 の上にシリコン酸化膜 3 を形成することにより構成したものである。積層基板 10 は、シリコン基板 11 の上に埋込み酸化膜（広義には、埋込み絶縁膜）12 を介して薄膜シリコン層 13 を形成することにより構成したものである。

【0018】

図 1, 3, 4 に示すように、積層基板 10 には貫通孔（トレンチ）15 が形成され、このトレンチ（貫通孔 15）はシリコン酸化膜 3 に達している。貫通孔 15 により、図 1 に示すように、長形状をなす積層基板 10 の中央部に、可動構造体 E_m が区画形成されることになる。図 3, 4, 5 に示すように、可動構造体 E_m の形成領域における埋込み酸化膜 12 とシリコン基板 11 とは除去されている。このように可動構造体 E_m は薄膜シリコン層 13 にて構成されている。図 1 に示すように、可動構造体 E_m は捩じり梁 16a, 16b と可動部（質量部）17 を具備し、捩じり梁 16a, 16b に可動部 17 が連結されている。詳しくは、可動部（質量部）17 は、長形状をなし、長形状の可動部 17 における長

辺での中央部には、棒状の捩じり梁 16 a, 16 b が直線的に延びている。そして、棒状の梁 16 a, 16 b に連結された可動部 17 が、棒状の梁 16 a, 16 b を結ぶ線を中心にして揺動することができるようになっている。

【0019】

長方形状の可動部 17 における短辺部には櫛歯電極 18 a, 18 b が形成されている。また、長方形状の可動部 17 の上面には、図 5 に示すように、シリコン酸化膜 19 を介して反射膜 20 が成膜されている。反射膜 20 はアルミ等よりなる。図 1 に示すように、長方形状の可動部 17 には多数の透孔 21 が形成されている。各透孔 21 は縦横寸法が $3\ \mu\text{m}$ 程度の四角形をなし、そのピッチ（隣り合う透孔 21 の間隔）が $180\ \mu\text{m}$ 程度である。

【0020】

一方、図 1, 2 に示すように、積層基板 10（シリコン基板 11 と埋込み酸化膜 12 と薄膜シリコン層 13 との積層体）には貫通孔 22 a, 22 b が形成され、貫通孔 22 a, 22 b は線状に延びている。貫通孔 22 a, 22 b の内壁にはシリコン酸化膜 23 が形成されるとともにその内方にはポリシリコン膜 24 が充填されている。このポリシリコン膜 24 により、図 1 に示すように、固定側櫛歯電極 25 a, 25 b が構成されている。固定側櫛歯電極 25 a, 25 b は貫通孔 15 の側面から突出し、かつ、可動構造体 E m の可動側櫛歯電極 18 a, 18 b と対向している。

【0021】

また、図 1 において、延設した貫通孔 22 a, 22 b により、積層基板 10（シリコン基板 11 と埋込み酸化膜 12 と薄膜シリコン層 13 との積層体）が 3 つの領域 30, 31, 32 に区画されている。領域 31 は、第 1 の固定側部材（第 1 の固定電極部）31 a と第 2 の固定側部材（第 2 の固定電極部）31 b からなり、第 1 の固定側部材（第 1 の固定電極部）31 a から捩じり梁 16 a が延びている。また、第 2 の固定側部材（第 1 の固定電極部）31 b から捩じり梁 16 b が延びている。一方、領域 30 において櫛歯電極 25 a が延びている。また、領域 32 において櫛歯電極 25 b が延びている。

【0022】

固定側櫛歯電極 25 a, 25 b および可動側櫛歯電極 18 a, 18 b における各歯の幅は、例えば $3\ \mu\text{m}$ 程度であり、各歯のピッチ（歯と歯の間隔）は $12\ \mu\text{m}$ 程度である。また、対向して配置される固定側櫛歯電極 25 a, 25 b と可動側櫛歯電極 18 a, 18 b との距離は $4\ \mu\text{m}$ 程度である。

【0023】

図 1 において、積層基板 10（シリコン基板 11 と埋込み酸化膜 12 と薄膜シリコン層 13 との積層体）での領域 31 において積層基板 10 の上には、図 2 に示すように、シリコン酸化膜 33 を介してパッド 34 が薄膜シリコン層 13 と電氣的に接続される状態で形成されている。パッド 34 はアルミ等よりなり、このパッド 34 を通して可動側櫛歯電極 18 a, 18 b に電圧を印加することができる。

【0024】

図 1 において、積層基板 10（シリコン基板 11 と埋込み酸化膜 12 と薄膜シリコン層 13 との積層体）での領域 30 において所定領域には、図 2, 3, 4 に示すごとく、シリコン酸化膜 35 を介して配線材としてのポリシリコン膜 36 a が形成されている。このポリシリコン膜 36 a はポリシリコンよりなる固定側櫛歯電極 25 a と電氣的に接続されている。ポリシリコン膜 36 a の上にはパッド 37 a が形成されており、パッド 37 a はアルミ等よりなる。そして、パッド 37 a からポリシリコン膜 36 a を通して固定側櫛歯電極 25 a に電圧を印加することができる。同様に、図 1 において、積層基板 10 での領域 32 において所定領域には、図 2, 3, 4 に示すごとく、シリコン酸化膜 35 を介して配線材としてのポリシリコン膜 36 b が形成され、ポリシリコン膜 36 b はポリシリコンよりなる固定側櫛歯電極 25 b と電氣的に接続されている。ポリシリコン膜 36 b の上にはパッド 37 b が形成されており、パッド 37 b はアルミ等よりなる。そして、パッド 37 b からポリシリコン膜 36 b を通して固定側櫛歯電極 25 b に電圧を印加することができる。

【0025】

また、図 1 において、積層基板 10 での領域 30, 32 においてポリシリコン膜 36 a, 36 b の無い部位にパッド 38 a, 38 b が形成されている。パッド

38a, 38bを通して領域30, 32での薄膜シリコン層13がグランド電位に固定される。

【0026】

そして、可動側櫛歯電極18a, 18bと固定側櫛歯電極25a, 25bとの間に電圧を印加することにより静電気力が作用する。具体的には、可動側櫛歯電極18a, 18bをグランド電位にするとともに、固定側櫛歯電極25a, 25bのそれぞれに逆位相の交流電圧を印加する。そして、静電引力と捩じれの復元力の釣り合いによって強制駆動が行われる。

【0027】

このようにして、シリコン基板11の上に埋込み酸化膜12を介して薄膜シリコン層13を形成した積層基板10を用い、薄膜シリコン層13により捩じり梁構造の可動構造体Emが構成されている。そして、この可動構造体Emにおける可動側櫛歯電極18a, 18bと、当該可動側櫛歯電極18a, 18bに対向するように配置した固定側櫛歯電極25a, 25bとの間に電位差を生じさせて可動構造体Emが揺動することになる。つまり、光反射部となる可動部17の揺動（振れ）に伴ない反射膜20の向きが変更されることになる。これにより、反射膜20に照射された光（例えばレーザービーム）の向きが変更（光路が変更）されてスキャニングが行われることになる。

【0028】

ここで、図6を用いて可動側櫛歯電極18a, 18bと固定側櫛歯電極25a, 25bとの高度差、つまり、上下方向における可動側櫛歯電極18a, 18bの中心位置と固定側櫛歯電極25a, 25bの中心位置との差について説明する。

【0029】

図6において、シリコン基板11の厚さが30 μ m、埋込み酸化膜12の厚さが0.5 μ m、薄膜シリコン層13の厚さが10 μ mの場合を考える。積層基板を貫通する貫通孔15の内部に固定側櫛歯電極25a, 25bが形成されている。また、積層基板の薄膜シリコン層13にて可動側櫛歯電極18a, 18bが構成されている。よって、上下方向における可動側櫛歯電極18a, 18bの中心

位置と固定側櫛歯電極 25a, 25b の中心位置との差は、

$$\{(10 + 0.5 + 30) / 2\} - (10 / 2) = 15.25 \mu\text{m}$$

となる。

【0030】

一方、図33に示すように、積層基板の薄膜シリコン層122にて可動側櫛歯電極を構成するとともに、積層基板の薄膜シリコン層122の上にシリコン酸化膜23を介して固定側櫛歯電極(124)を形成する場合は、次のようになる(その内容は前に述べている)。薄膜シリコン層122の厚さ $T_s = 10 \mu\text{m}$ 、シリコン酸化膜123の厚さ $T_o = 1 \mu\text{m}$ 、金属膜124の厚さ $T_m = 1 \mu\text{m}$ のとき、電極高度差は $6.5 \mu\text{m}$ となる。

【0031】

このように、図33の構造に比べ図6の構造の方が、上下方向における可動側櫛歯電極の中心位置と固定側櫛歯電極の中心位置との差を大きくすることができ、可動構造体Emの揺動(振れ角)を大きくすることができる。具体的には、可動部(ミラー部)17の縦横サイズを $1000 \mu\text{m}$ とした場合、最大変位は $\tan^{-1}(15.25 / 500) = 1.75^\circ$ となり、スキャン角度はその2倍の 3.5° となる。これは、図33の場合の 1.5° に比べ大きい。

【0032】

次に、製造方法を、図7～図20を用いて説明する。図7～図20の各図において、(a)は図2に、(b)は図3に、(c)は図4に対応している。つまり、図7～図20の各図において、(a)は図1のA-A線での製造工程を表し、(b)は図1のB-B線での製造工程を表し、(c)は図1のC-C線での製造工程を表している。

【0033】

まず、図7(a), (b), (c)に示すように、支持基板1の上に積層基板10を配置したものを用意する。支持基板1はシリコン基板2の上にシリコン酸化膜3を形成することにより構成されている。積層基板10は、シリコン基板11の上に埋込み酸化膜12を介して薄膜シリコン層13を形成することにより構成されている。

【0034】

詳しくは、図21(a)に示すように、シリコン層13の上に埋込み酸化膜12を介してシリコン基板(シリコン層)11を形成したものを用意する。また、図21(b)に示すように、シリコン基板2の上にシリコン酸化膜3を形成したものを用意する。そして、図21(c)に示すように、シリコン酸化膜3とシリコン基板(シリコン層)11とを貼り合わせる。さらに、シリコン層13を研磨して同シリコン層13を薄膜化する。これにより、図21(d)に示すように、支持基板1の上に積層基板10を配置したものを得る。

【0035】

なお、図21(a), (b), (c), (d)においては具体的な膜厚値を例示している。

次に、図8(a), (b), (c)に示すように、薄膜シリコン層13の上にシリコン酸化膜35を形成する。この酸化膜35は薄膜シリコン層13、埋込み酸化膜12、シリコン基板11を貫通する貫通孔(トレンチ)を形成する際のマスク材となるため、十分な厚さが必要である。例えば、埋込み酸化膜12が熱酸化膜であり、厚さ $0.5\mu\text{m}$ 、単結晶シリコンと熱酸化膜のエッチング選択比が「50」、薄膜シリコン層13の厚さが $10\mu\text{m}$ 、シリコン基板11の厚さが $30\mu\text{m}$ である場合にトレンチを形成する際には、ここで形成する酸化膜35は、 $(10+30)/50+0.5=1.3\mu\text{m}$ 以上を必要とする。この酸化膜35の形成は、CVD、熱酸化膜上へのCVD、いずれの方法であってもよい。

【0036】

引き続き、図9(a), (b), (c)に示すように、シリコン酸化膜35にトレンチパターンを形成すべくシリコン酸化膜35の上にレジストによるトレンチパターンを形成し、レジストをマスクとして所定領域の酸化膜35をエッチングする。この際、酸化膜35が厚いために横方向へのエッチングによるパターン寸法のずれを防ぐため、異方性のドライエッチングを用いる。そして、レジストを除去した後、薄膜シリコン層13(厚さ $10\mu\text{m}$)、埋込み酸化膜12(厚さ $0.5\mu\text{m}$)、シリコン基板11(厚さ $30\mu\text{m}$)を順にエッチングして貫通孔(トレンチ)22a, 22bを形成する。ここでは一般的にディープRIEと呼

ばれる高アスペクトなドライエッチング工程を用いる。貫通孔（トレンチ）22 a, 22 bの幅は3 μ m程度である。

【0037】

さらに、例えば1/50のHF水溶液を用いて貫通孔（トレンチ）22 a, 22 b中の反応生成物を除去する。ここで、長時間の浸水は埋込み酸化膜12を水平方向にエッチングするため、必要最小限な時間にとどめる。

【0038】

このようにして、積層基板10における少なくとも固定側櫛歯電極の形成領域に積層基板10を貫通する貫通孔（トレンチ）22 a, 22 bを形成する。

さらに、図10（a）,（b）,（c）に示すように、例えば1000℃、ウェット酸化1時間で0.1 μ m程度の熱酸化を行う。これにより、熱酸化によるシリコン酸化膜23がトレンチ側壁に形成され、後のシリコン基板11のエッチングの際のストッパとなる。熱酸化によるシリコン酸化膜23の形成において、図22（a）に示すように、貫通孔（トレンチ）22 a, 22 b内における埋込み酸化膜12の側壁にはシリコン酸化膜（熱酸化膜）23は形成されない。そのため、貫通孔（トレンチ）22 a, 22 b内において埋込み酸化膜12の側面での穴幅がシリコン酸化膜（熱酸化膜）23が形成された部位での穴幅よりも大きくなる（広くなる）。

【0039】

そして、図11（a）,（b）,（c）に示すように、貫通孔（トレンチ）22 a, 22 bを導電性材料で埋め戻すことを目的として、例えばリンを高濃度にドーピングしたポリシリコン膜24をCVDにて成膜する。貫通孔（トレンチ）22 a, 22 bの幅が3 μ mのとき、CVDによりポリシリコン膜24を厚さ3 μ mで成膜すると良好な埋め込みが得られる。この際、過剰な熱酸化膜（シリコン酸化膜23）の形成は、ここでの埋め戻し時に埋込み酸化膜12の水平面上にボイドを発生させるので、膜厚は最適化する必要がある。つまり、図22（a）においてシリコン酸化膜（熱酸化膜）23を過剰に形成すると、ポリシリコン膜24の成膜の際に、図22（b）に示すように、ボイドができるので、過剰に熱酸化は行わないようにする。即ち、ボイドは櫛歯電極の強度を低下させるので、トレ

ンチ側壁のシリコン酸化膜（熱酸化膜）23は過剰に厚くしないようにする。

【0040】

引き続き、図12（a），（b），（c）に示すように、ウエハ表面全面にデポされたポリシリコン膜24をマスクレスで2 μ mエッチングし、ポリシリコン膜24の残膜を1 μ m程度とする。

【0041】

そして、図13（a），（b），（c）に示すように、不要な領域のポリシリコン膜をエッチング除去し、配線としてのポリシリコン膜36a，36bを残す。配線としてのポリシリコン膜36a，36bは固定側櫛歯電極25a，25bとパッド37a，37bを結ぶことになる（図2，4参照）。

【0042】

次に、図14（a），（b），（c）に示すように、シリコン酸化膜35におけるコンタクト領域をパターニング（エッチング除去）して酸化膜19，33とする。

【0043】

そして、図15（a），（b），（c）に示すように、金属膜（アルミ膜）をデポまたはスパッタし、さらに、パターニング（エッチング）して反射膜20とパッド37a，37b，34、およびパッド38a，38b（図1参照）を形成する。この際、反射膜20の形成部分には開口部（透孔21）を多数形成する。この開口部（透孔21）は縦横寸法が3 μ m程度の四角形をなし、その間隔（ピッチ）が180 μ mである。金属膜は、アルミの他にも、AlSiCu、金などを用いてもよい。

【0044】

さらに、図16（a），（b），（c）に示すように、プラズマTEOS等の低温CVDによるシリコン酸化膜40を2 μ m程度デポし、450℃、30分間程度のアニール処理を行う。そして、図17（a），（b），（c）に示すように、シリコン酸化膜40に対し図1での符号15の貫通孔のパターンおよび符号21の透孔のパターンを形成すべくシリコン酸化膜40の上にレジストによるトレンチパターンを形成し、レジストをマスクとして所定領域の酸化膜40をエッ

チングする。これにより、開口部 41 が形成される。

【0045】

続いて、図 18 (a), (b), (c) に示すように、レジストを除去した後にシリコン酸化膜 40 をマスクとしてドライエッチングを用いて薄膜シリコン層 13 をエッチングし、引き続き、露出した埋込み酸化膜 12 をドライエッチングを用いて除去する。これにより、貫通孔 (トレンチ) 15 および透孔 21 が形成される。このとき、トレンチ底部の埋込み酸化膜 12 はマイクロローディング効果によってエッチングレートが遅いため、十分なエッチング時間とする必要がある。従って、シリコン酸化膜 (マスク酸化膜) 40 とのエッチングレート比より換算して、シリコン酸化膜 (TEOS 膜) 40 が十分厚いか、または、マイクロローディング効果を抑止するために開口部 (図 17 の開口部 41) は広くなければならない。

【0046】

このようにして、積層基板 10 における少なくとも、可動構造体の形成領域の周囲の薄膜シリコン層 13 および埋込み酸化膜 12 をトレンチエッチングにて除去する (少なくとも貫通孔 15 を形成する)。

【0047】

次に、図 19 (a), (b), (c) に示すように、 $0.3\ \mu\text{m}$ 程度の CVD によるシリコン酸化膜 42 をデポし、全面を、デポした厚さだけドライエッチングで除去する。これによって、図 18 で形成した貫通孔 (トレンチ) 15 および透孔 21 の側壁にのみ薄いシリコン酸化膜 42 が形成される。

【0048】

さらに、図 20 (a), (b), (c) に示すように、例えば XeF_2 等の等方性エッチング材料を用いて可動構造体 E m となる領域の下のシリコン基板 11 をエッチング除去する。エッチングガスは図 18 で形成したトレンチ (符号 15, 21 の部分) より進入し、エッチング量は可動構造体 E m が完全に酸化膜 3 から離れるまでとする。ここで、 XeF_2 ガスを用いたエッチングにおいて酸化膜は Si に対して非常に高い選択比を持っており、トレンチ側壁に形成した酸化膜 23 および可動構造体 E m の裏面の埋込み酸化膜 12 がエッチングストップとな

る。

【0049】

最後に、エッチングストッパとして用いた酸化膜 23, 12 および全面のシリコン酸化膜 40 をドライエッチングによって除去し、アルミ面を露出させると、図 2, 3, 4 に示す構造が得られる。

【0050】

このように、積層基板 10 の薄膜シリコン層 13 よりなる可動側櫛歯電極 18 a, 18 b と、積層基板 10 の貫通孔 15 内に形成したポリシリコン膜（導電性材料）からなる固定側櫛歯電極 25 a, 25 b を対向して配置した構造とする。つまり、固定側櫛歯電極 25 a, 25 b の形成のために、トレンチエッチングを行うとともに当該トレンチ内に導電性材料（ポリシリコン膜）を埋め込み、これにより、固定側櫛歯電極 25 a, 25 b を構成する。

【0051】

ここで、トレンチエッチングでのアスペクト比の観点から可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との高度差について言及する。

固定側櫛歯電極 25 a, 25 b の高さはトレンチエッチングの深さによって決まり、例えばアスペクト比が「60」のエッチング条件を用いた場合には、櫛歯電極の各歯の幅を $3\mu\text{m}$ としたとき、トレンチの深さは $180\mu\text{m}$ となる。従って、可動部 17（ミラー面）における薄膜シリコン層 13 の厚さを $10\mu\text{m}$ とした場合、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極の高度差は、 $(180/2) - (10/2) = 85\mu\text{m}$ となる。故に、従来技術の説明における計算と同様な計算からスキャン角度は 19.3° ($= 2 \cdot \{ \tan^{-1}(85/500) \}$) と、従来技術の 1.5° に比べ 12 倍のスキャン角度を得ることができる。

【0052】

また、製造工程においてトレンチ形成後にその側壁を熱酸化することによってポリシリコンを酸化膜 23 で囲むことができ、可動構造体 E m の下の空間形成工程におけるシリコンのエッチング時の固定側櫛歯電極（ポリシリコン）の保護膜とする。

【0053】

このように、静電アクチュエータの製造方法として下記の特徴を有する。

(イ) 第1工程として、図7に示すように、支持基板1の上に積層基板10を配置する。第2工程として、図9, 11に示すように、積層基板10における固定側櫛歯電極の形成領域に当該積層基板10を貫通する貫通孔22a, 22bを形成するとともに、この貫通孔22a, 22bに、固定側櫛歯電極となる導電性材料としてのポリシリコン膜24を充填する。第3工程として、図18に示すように、積層基板10における可動構造体の形成領域の周囲の薄膜シリコン層13および埋込み酸化膜12をトレンチエッチングにて除去する。第4工程として、図20に示すように、可動構造体の形成領域におけるシリコン基板11をエッチング除去する。

(ロ) 第1工程として、図7に示すように、支持基板1の上に積層基板10を配置する。第2工程として、図9, 10, 11に示すように、積層基板10における固定側櫛歯電極の形成領域に当該積層基板10を貫通する貫通孔22a, 22bを形成するとともに、この貫通孔22a, 22bの側壁に保護膜としてのシリコン酸化膜(熱酸化膜)23を形成し、さらに、その内方に、固定側櫛歯電極となる導電性材料としてのポリシリコン膜24を充填する。第3工程として、図18に示すように、積層基板10における可動構造体の形成領域の周囲の薄膜シリコン層13および埋込み酸化膜12をトレンチエッチングにて除去する。第4工程として、図20に示すように、可動構造体の形成領域におけるシリコン基板11を、保護膜としてのシリコン酸化膜23をエッチングストッパとして用いたエッチングにて除去する。よって、保護膜としてのシリコン酸化膜23をエッチングストッパとして用いることにより、エッチングから固定側櫛歯電極となる導電性材料が保護される。

【0054】

以下、応用例を説明する。

図1において、固定側櫛歯電極25a, 25bはポリシリコンよりなるものを用いたが、金属を用いてもよい。金属として、具体的には銅、チタンを挙げることができる。

【0055】

また、図2の支持基板1にはシリコン基板2の上にシリコン酸化膜3を形成したものをを用いたが、ガラス板やセラミック板を用いてもよい。

さらに、図1の固定側櫛歯電極25a, 25bとパッド37a, 37bとをポリシリコン膜36a, 36bにて電氣的に接続したが、金属膜を用いて固定側櫛歯電極25a, 25bとパッド37a, 37bとを電氣的に接続してもよい。

【0056】

図1に代わり、図23, 24, 25に示すように、一对の可動側および固定側櫛歯電極50, 51を3つ以上設けてもよい。つまり、図1においては一对の可動側および固定側櫛歯電極(18a, 18b, 25a, 25b)を2つ設けたが、図23に示すように8つ設けたり、図24に示すように6つ設けたり、図25に示すように「10」設けてもよい。

【0057】

詳しくは、図23においては、可動側櫛歯電極50は、長方形の可動部17において振じり梁16a, 16bを設けた辺(対向する2つの辺)に設けている。また、図24, 25においては、可動側櫛歯電極50は、長方形の可動部17において振じり梁16a, 16bを設けた辺および振じり梁16a, 16bを設けなかった辺に設けている。

【0058】

このように、図1の構造に比べ、図23, 24, 25に示すように櫛歯電極の数を増やすことにより、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を大きくして、低電圧での駆動(揺動動作)が可能となる。

【0059】

また、図1においては、可動側櫛歯電極18a, 18bを長形状の可動部17における振じり梁16a, 16bを設けていない辺において設けている。これに対し、図23においては、可動側櫛歯電極50を長形状の可動部17における振じり梁16a, 16bを設けた辺において設けている。これにより、振れ角に対する櫛歯電極の変位量を小さくして振れ角を大きくすることが可能となる。

【0060】

図1に代わり、図26に示すように、可動側櫛歯電極50を、可動構造体Em

の捩じり梁 16 a, 16 b に設けてもよい。これにより、振れ角に対する櫛歯電極の変位量を小さくして振れ角を大きくすることが可能となる。

【0061】

図 1 に代わり、図 27 に示すように、可動側櫛歯電極において並設した歯 60 と、可動構造体 E m の捩じり梁 16 a, 16 b とを同一方向に延設し、かつ、可動側櫛歯電極において並設した歯 60 の長さを捩じり梁 16 a, 16 b の長さの半分以上としてもよい。この構成とすることにより、可動側櫛歯電極 (60) と固定側櫛歯電極 (61) の重なりを大きくすることができる (対向面積を広くすることができる)。その結果、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を大きくすることができる。

【0062】

図 6 に代わり、図 28 に示すように、貫通孔 15 の内部に形成した固定側櫛歯電極において並設した歯 X 1, X 2, X 3 は、上下方向における中心位置が H 1, H 2, H 3 と異なっているようにしてもよい。このように固定側櫛歯電極の歯の高さ H 1, H 2, H 3 を異ならせることにより可動部 (ミラー) 17 が傾いた際において、引き込んでいく力を更に強くすることができる。つまり、可動側櫛歯電極が揺動した際 (振れた際) の可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を強くすることができる。この場合、任意の電圧を固定側及び可動側櫛歯電極に印加することにより、任意の角度に可動部 17 (ミラー) を変位させることができる。

【0063】

さらに、図 29 に示すように、貫通孔 15 の内部に形成した固定側櫛歯電極における並設した歯 X 1, X 2, X 3 は、上下方向における中心位置が異なっており、かつ、その長さを異ならせてもよい。つまり、固定側櫛歯電極の歯の一部を可動側櫛歯電極に接近する方向に延ばす。図 28 においては、可動部 (ミラー) 17 が傾いた際 (回転した際) において固定側櫛歯電極から可動側櫛歯電極が離れる方向に変位することになる。これに対し、図 29 においては、可動部 (ミラー) 17 が傾いた際において、固定側櫛歯電極の歯と可動側櫛歯電極の歯の距離を一定に保つことが可能となり、引き合う力が強い状態を保持することができる。

。 【図面の簡単な説明】

【図 1】 実施の形態における光スキャナの平面図。

【図 2】 図 1 の A - A 線での縦断面図。

【図 3】 図 1 の B - B 線での縦断面図。

【図 4】 図 1 の C - C 線での縦断面図。

【図 5】 図 1 の D - D 線での縦断面図。

【図 6】 可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極の位置関係を示す図。

【図 7】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図

。 【図 8】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図

。 【図 9】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図

。 【図 1 0】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図 1 1】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図 1 2】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図 1 3】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図 1 4】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図 1 5】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図 1 6】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図 1 7】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面

図。

【図 18】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面

図。

【図 19】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面

図。

【図 20】 (a) ~ (c) は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面

図。

【図 21】 (a) ~ (d) は製造工程を説明するための縦断面図。

【図 22】 (a), (b) は製造工程を説明するための縦断面図。

【図 23】 応用例の光スキャナの平面図。

【図 24】 応用例の光スキャナの平面図。

【図 25】 応用例の光スキャナの平面図。

【図 26】 応用例の光スキャナの平面図。

【図 27】 応用例の光スキャナの平面図。

【図 28】 応用例の光スキャナを説明するための図。

【図 29】 応用例の光スキャナを説明するための図。

【図 30】 従来技術を説明するための光スキャナの斜視図。

【図 31】 従来技術を説明するための光スキャナの斜視図。

【図 32】 従来技術を説明するための光スキャナの断面図。

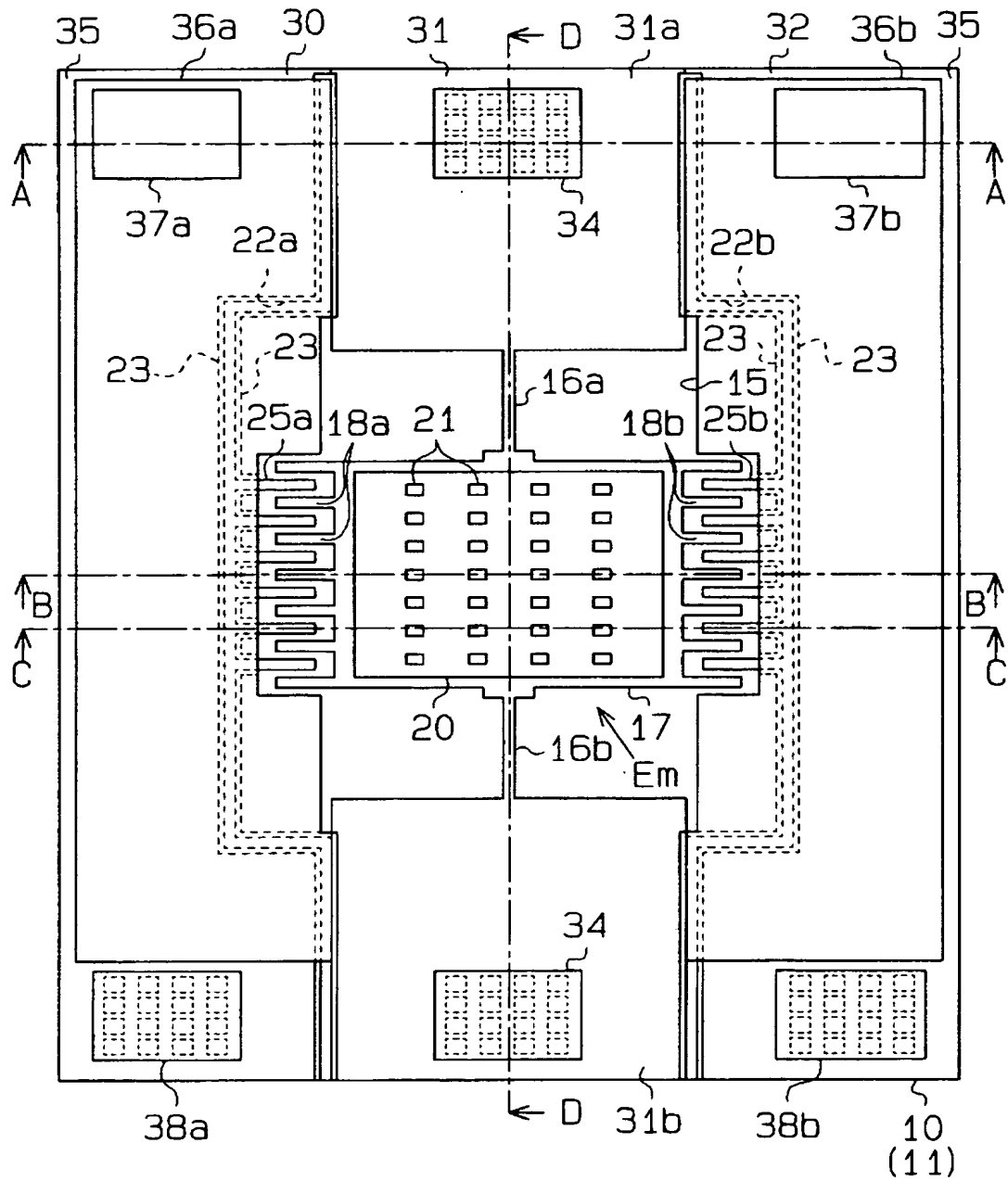
【図 33】 可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極の位置関係を示す図。

【符号の説明】

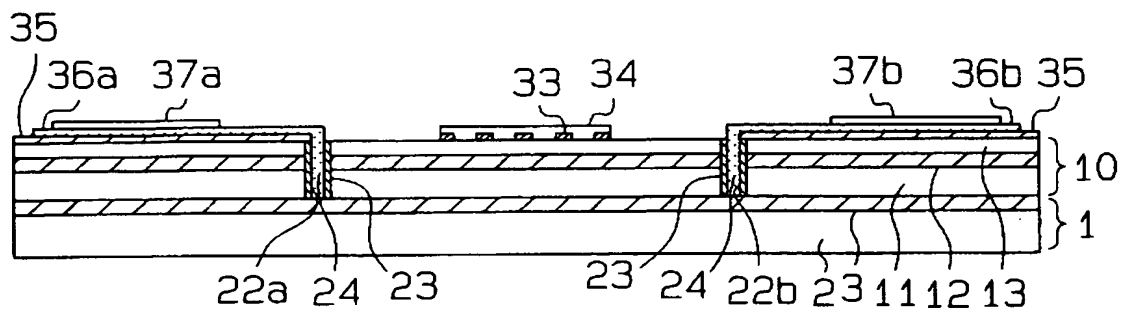
1…支持基板、2…シリコン基板、3…シリコン酸化膜、10…積層基板、11…シリコン基板、12…埋込み酸化膜、13…薄膜シリコン層、15…貫通孔、16a, 16b…挟み梁、17…可動部、18a…可動側櫛歯電極、18b…可動側櫛歯電極、22a…貫通孔、22b…貫通孔、23…シリコン酸化膜、24…ポリシリコン膜、25a…固定側櫛歯電極、25b…固定側櫛歯電極、50…可動側櫛歯電極、51…固定側櫛歯電極、60…歯、Es…可動構造体、X1…歯、X2…歯、X3…歯。

【書類名】 図面

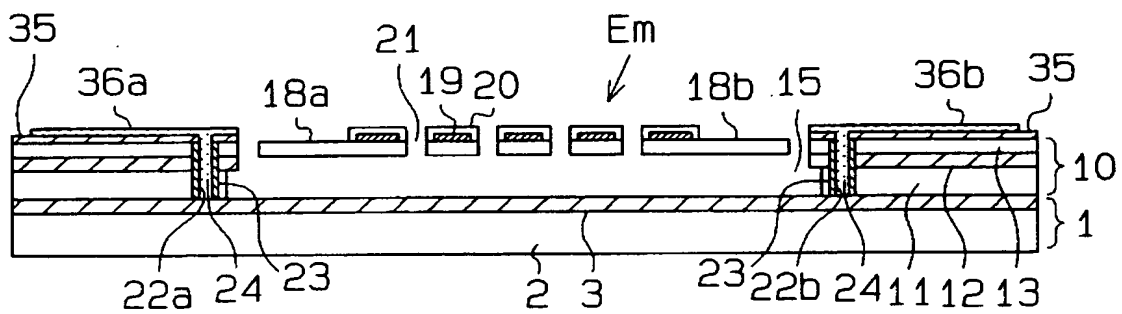
【図 1】



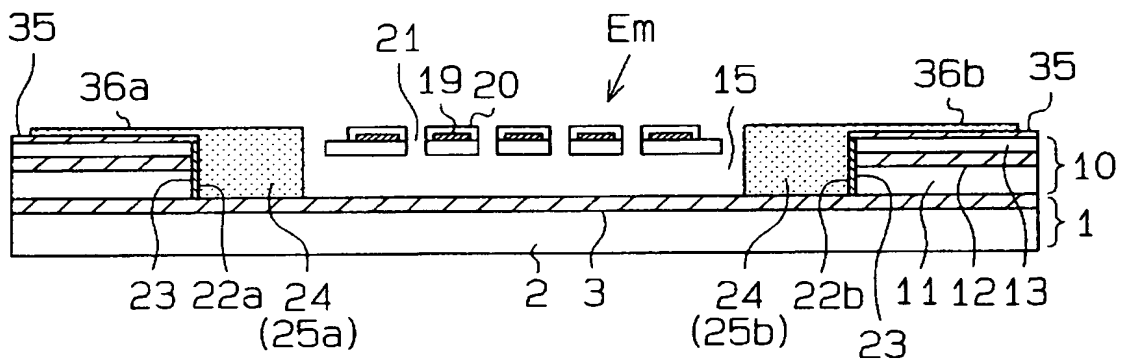
【図 2】



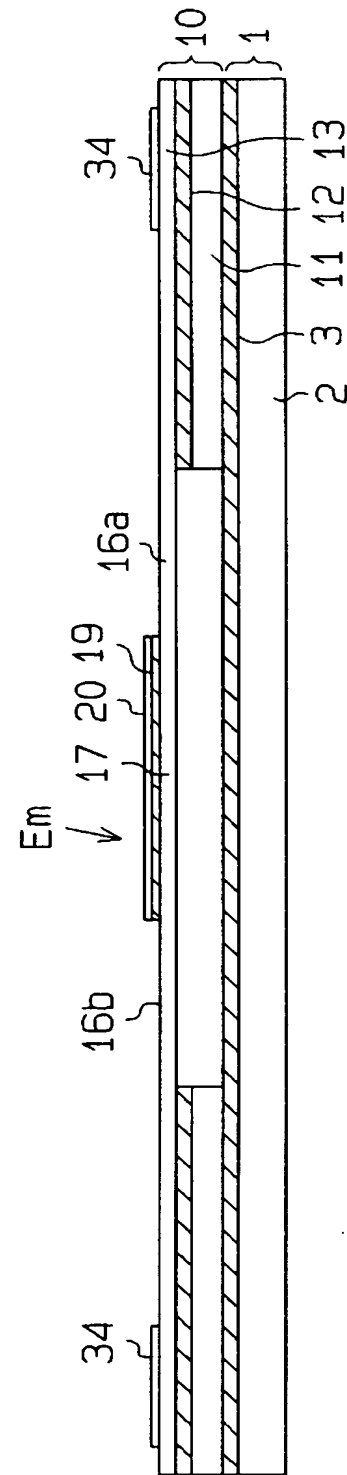
【図 3】



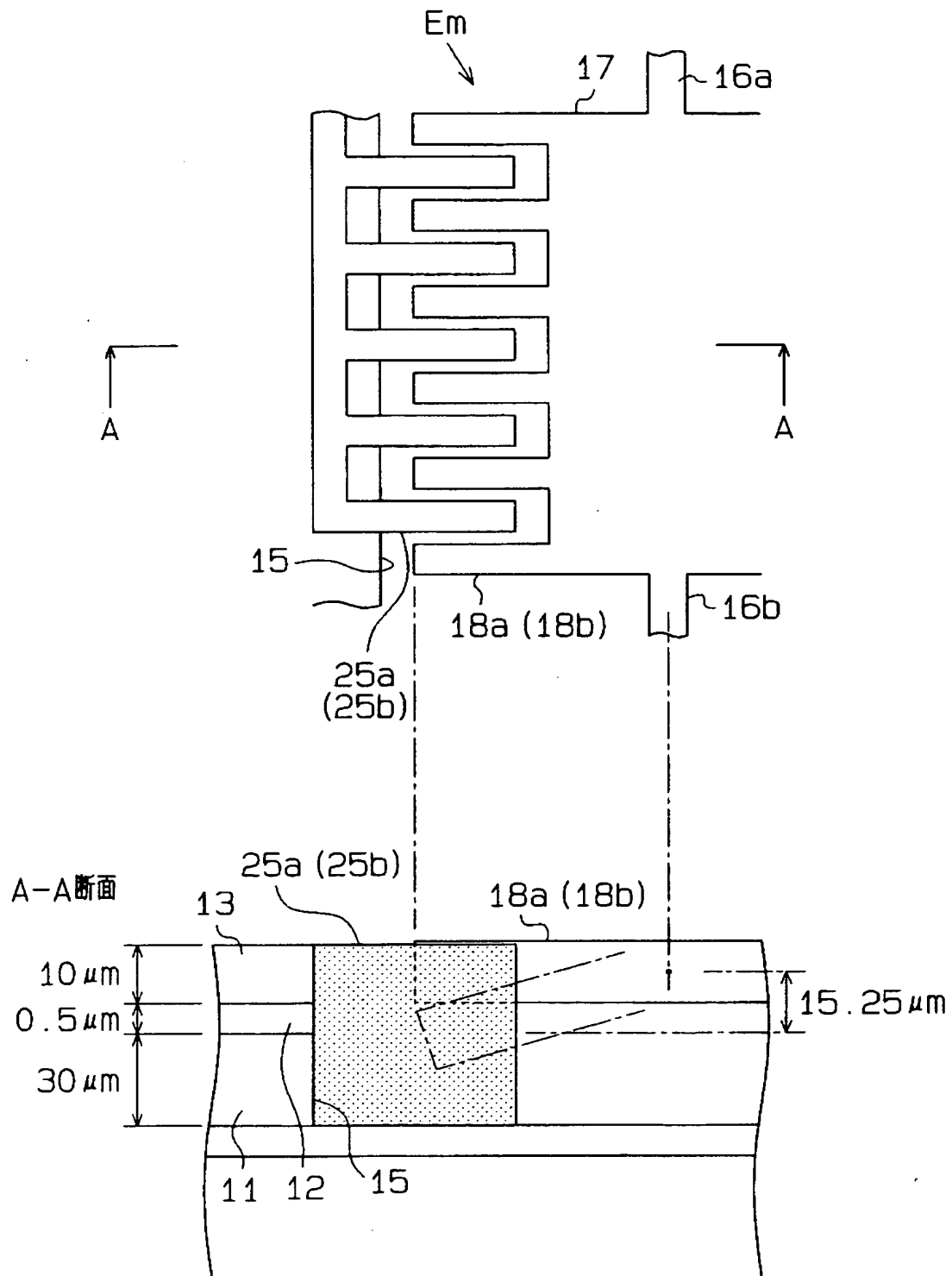
【図 4】



【図 5】

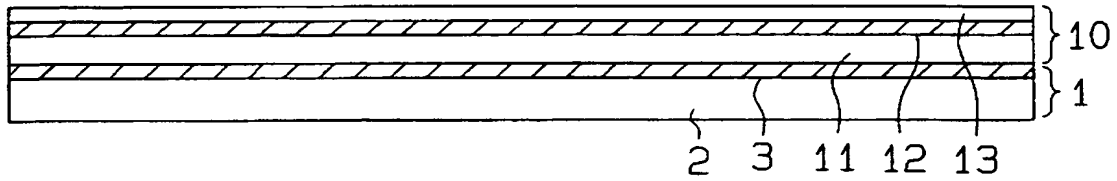


【図 6】

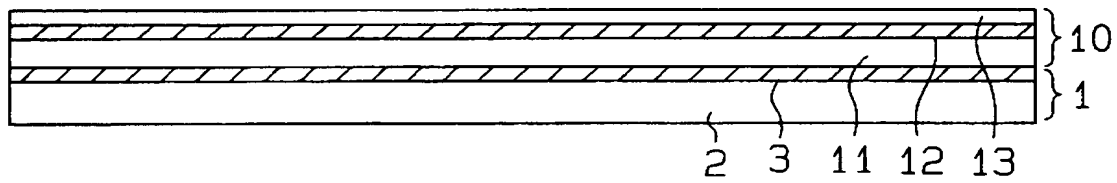


【図 7】

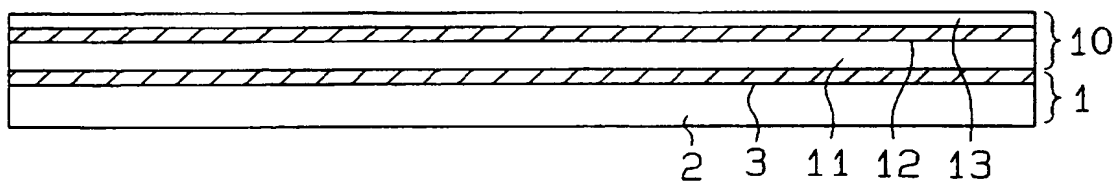
(a)



(b)

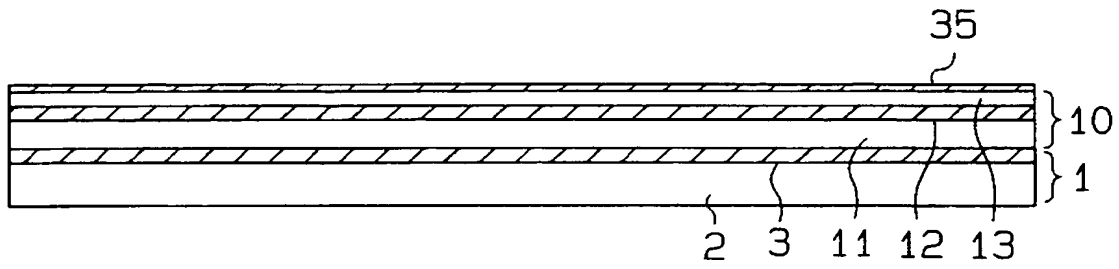


(c)

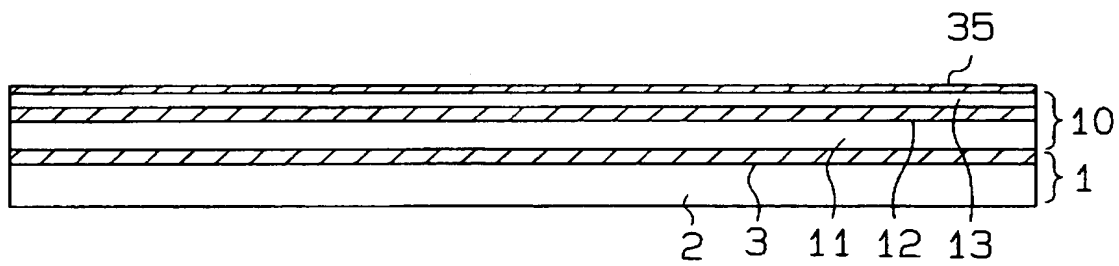


【図 8】

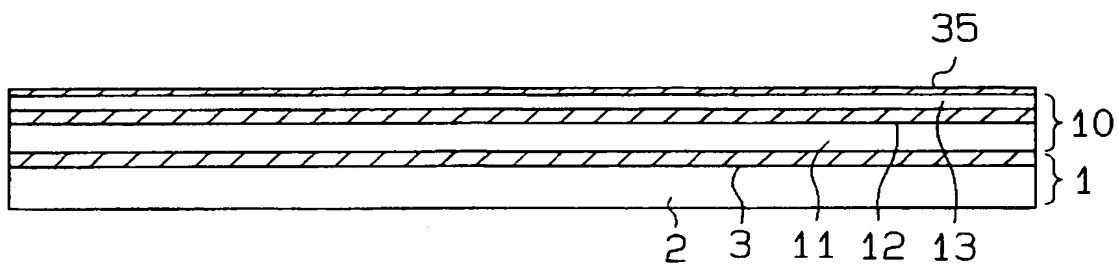
(a)



(b)

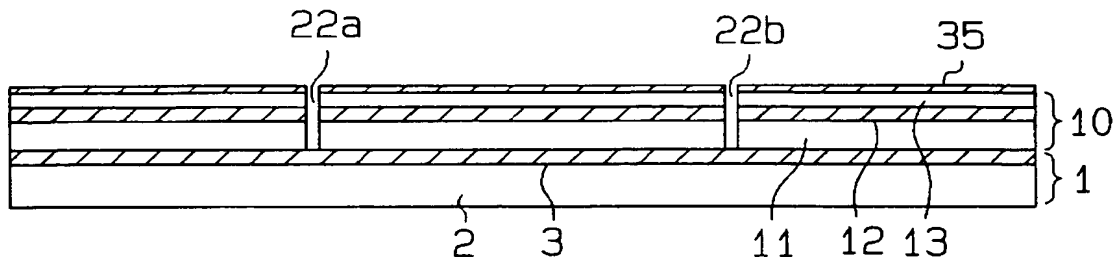


(c)

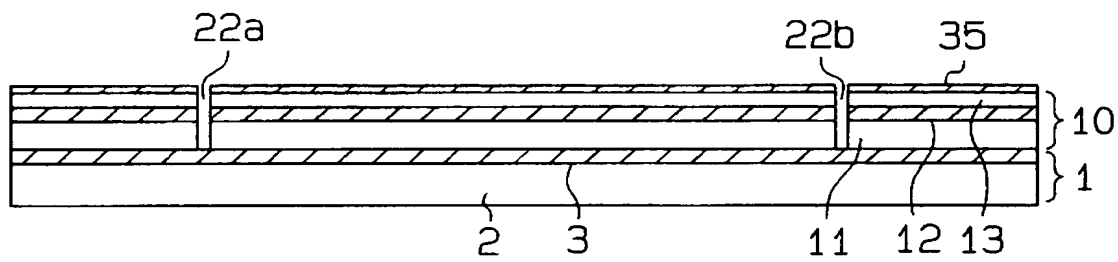


【図 9】

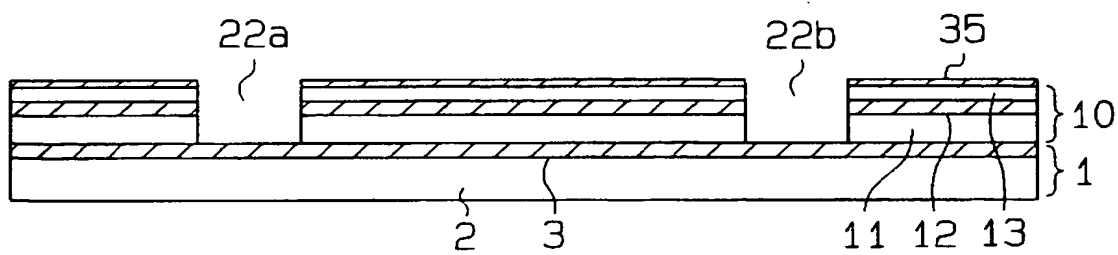
(a)



(b)

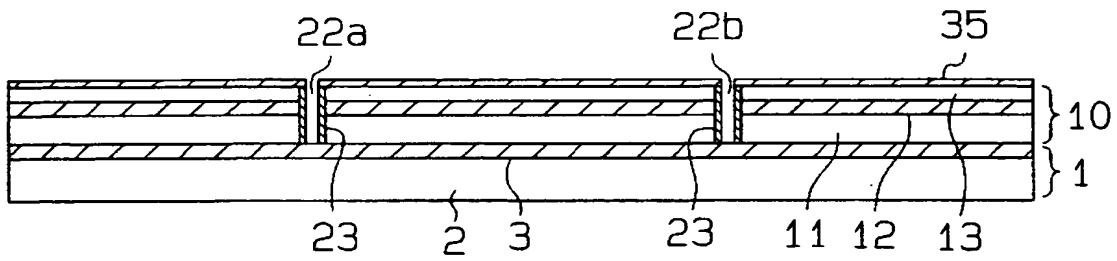


(c)

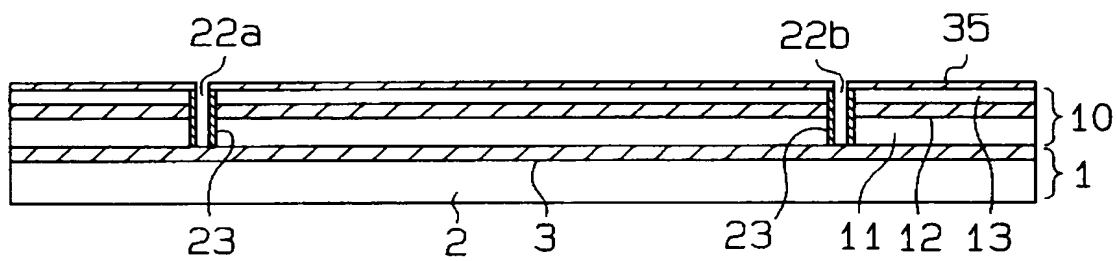


【図 10】

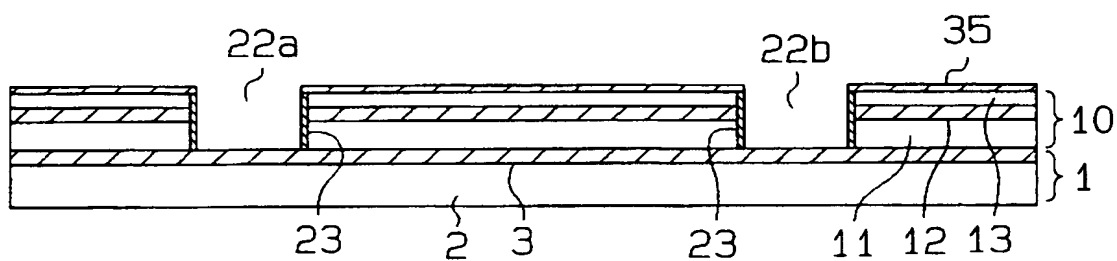
(a)



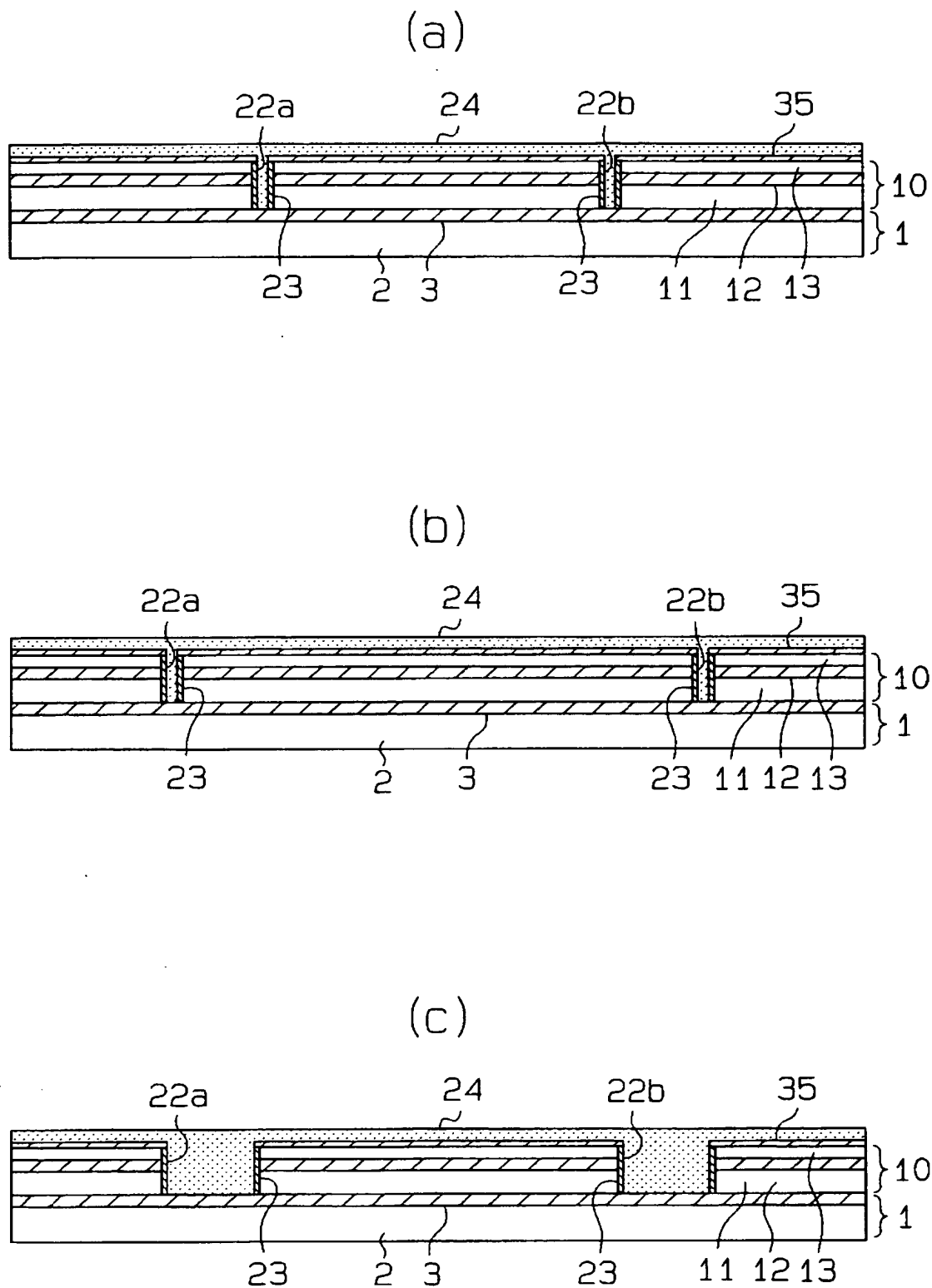
(b)



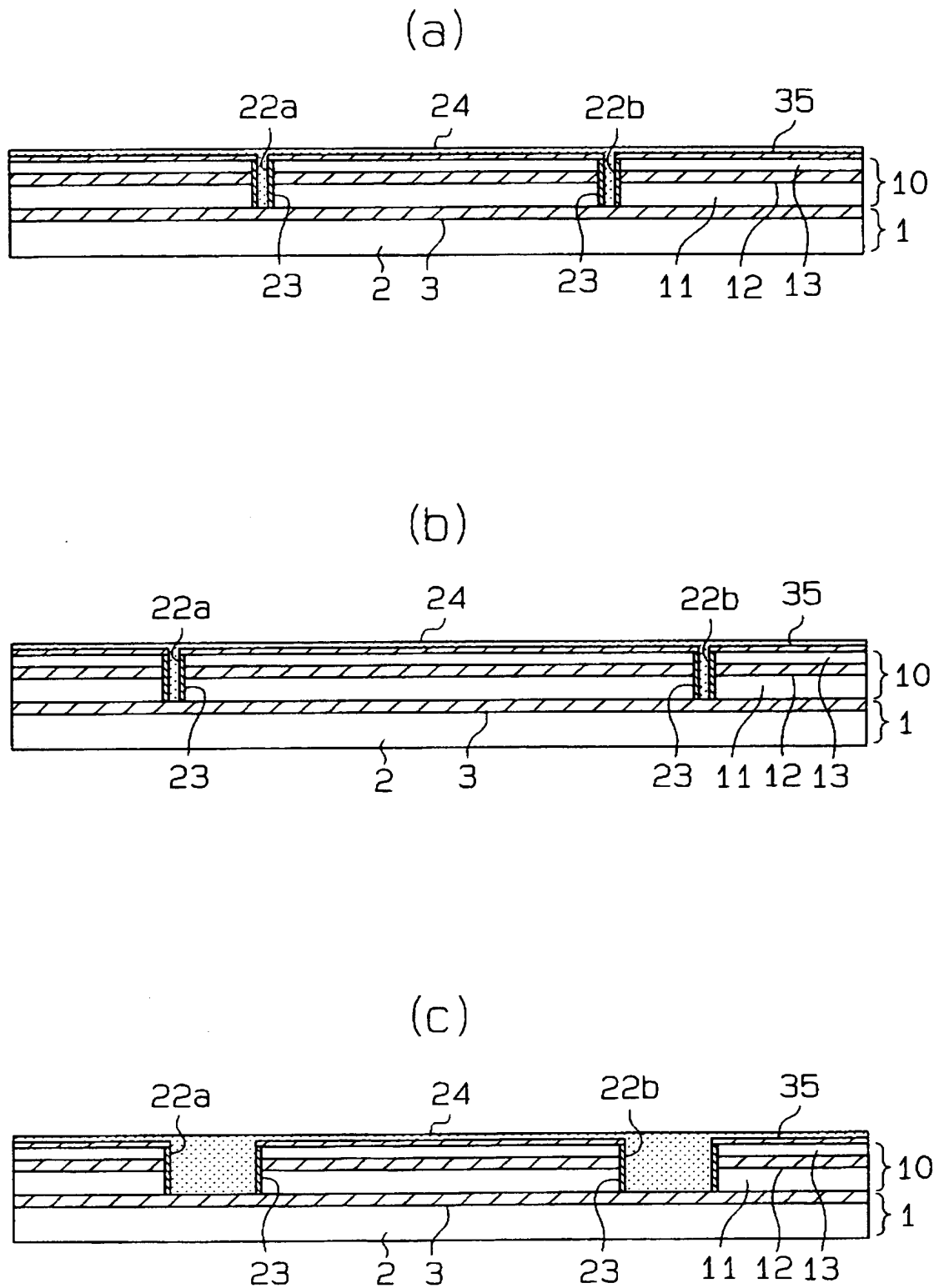
(c)



【図 11】

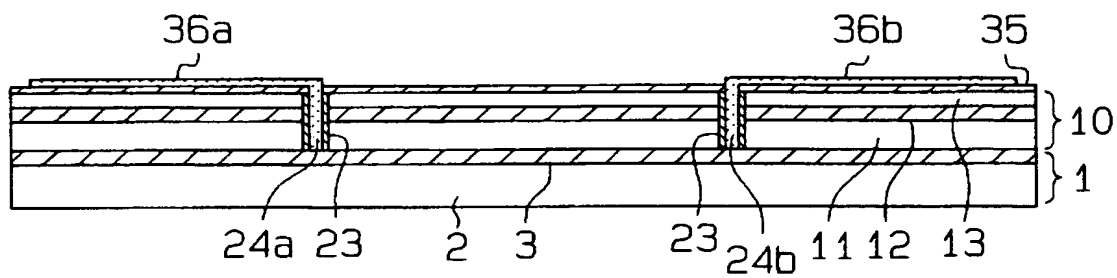


【図 12】

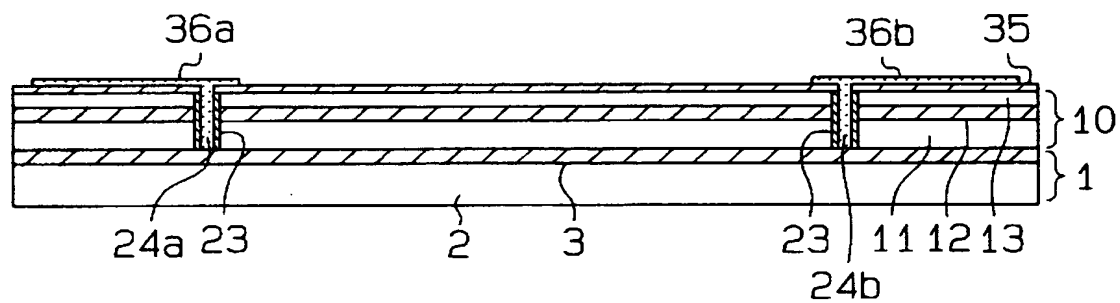


【図 13】

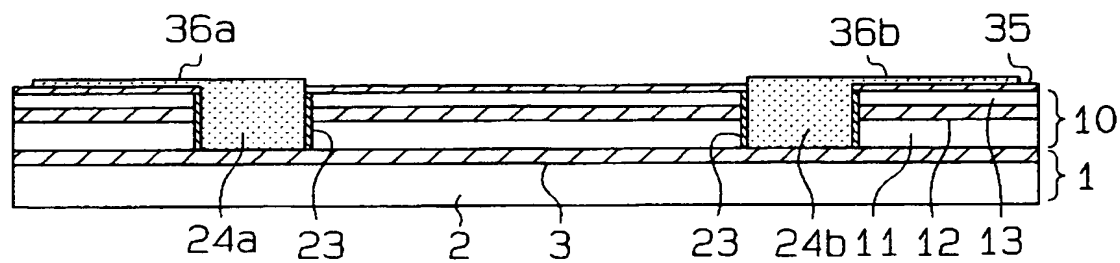
(a)



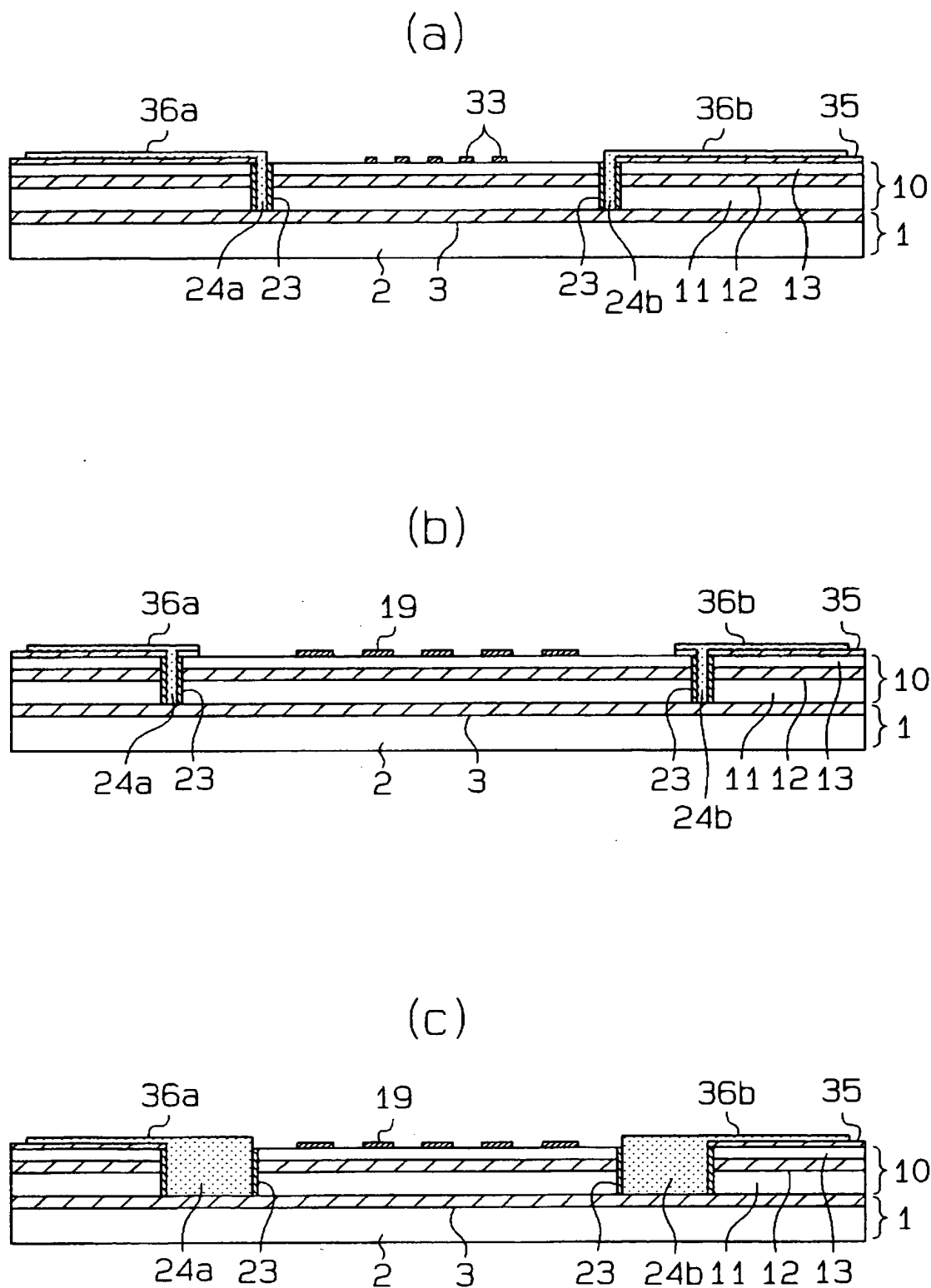
(b)



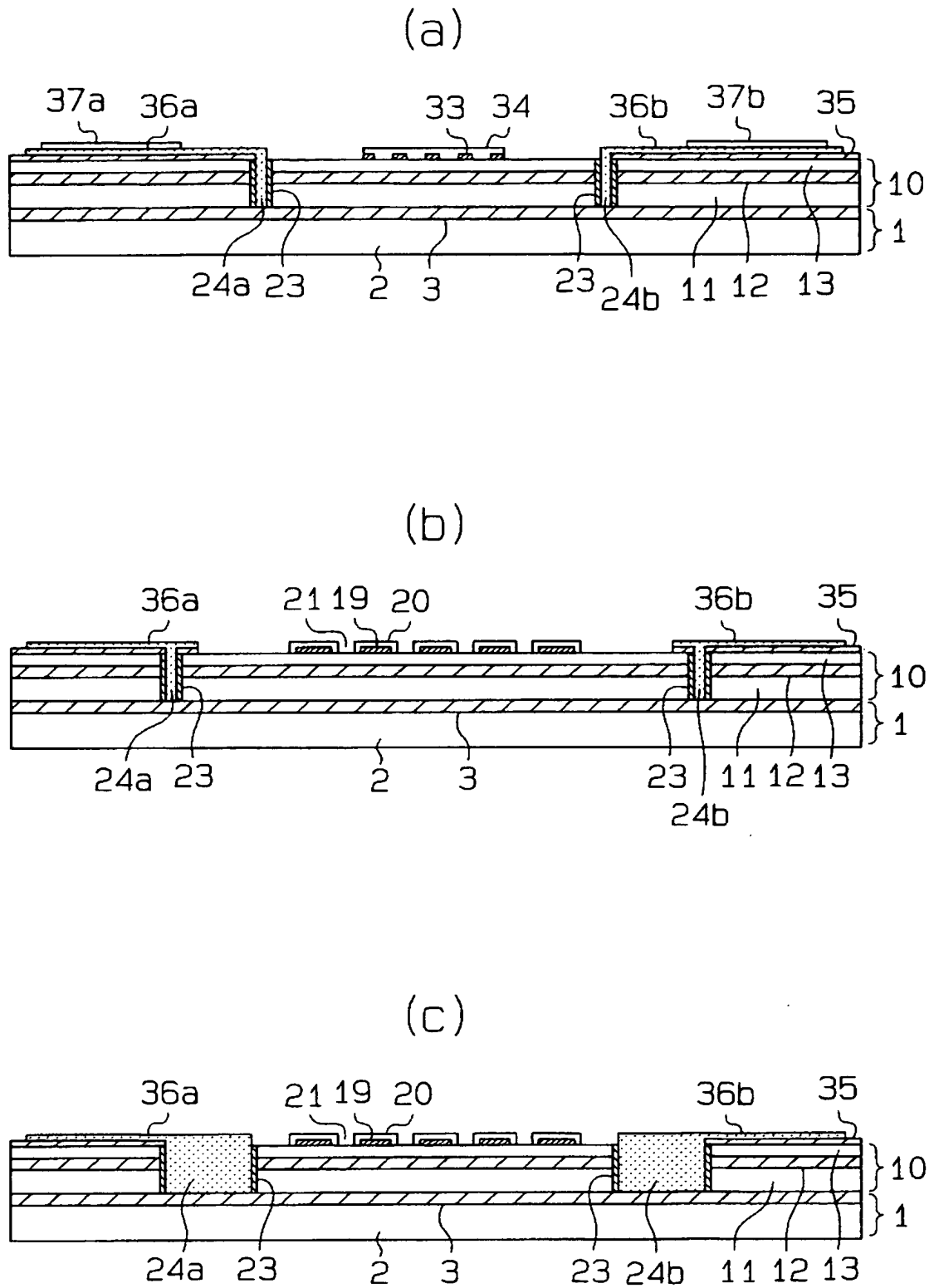
(c)



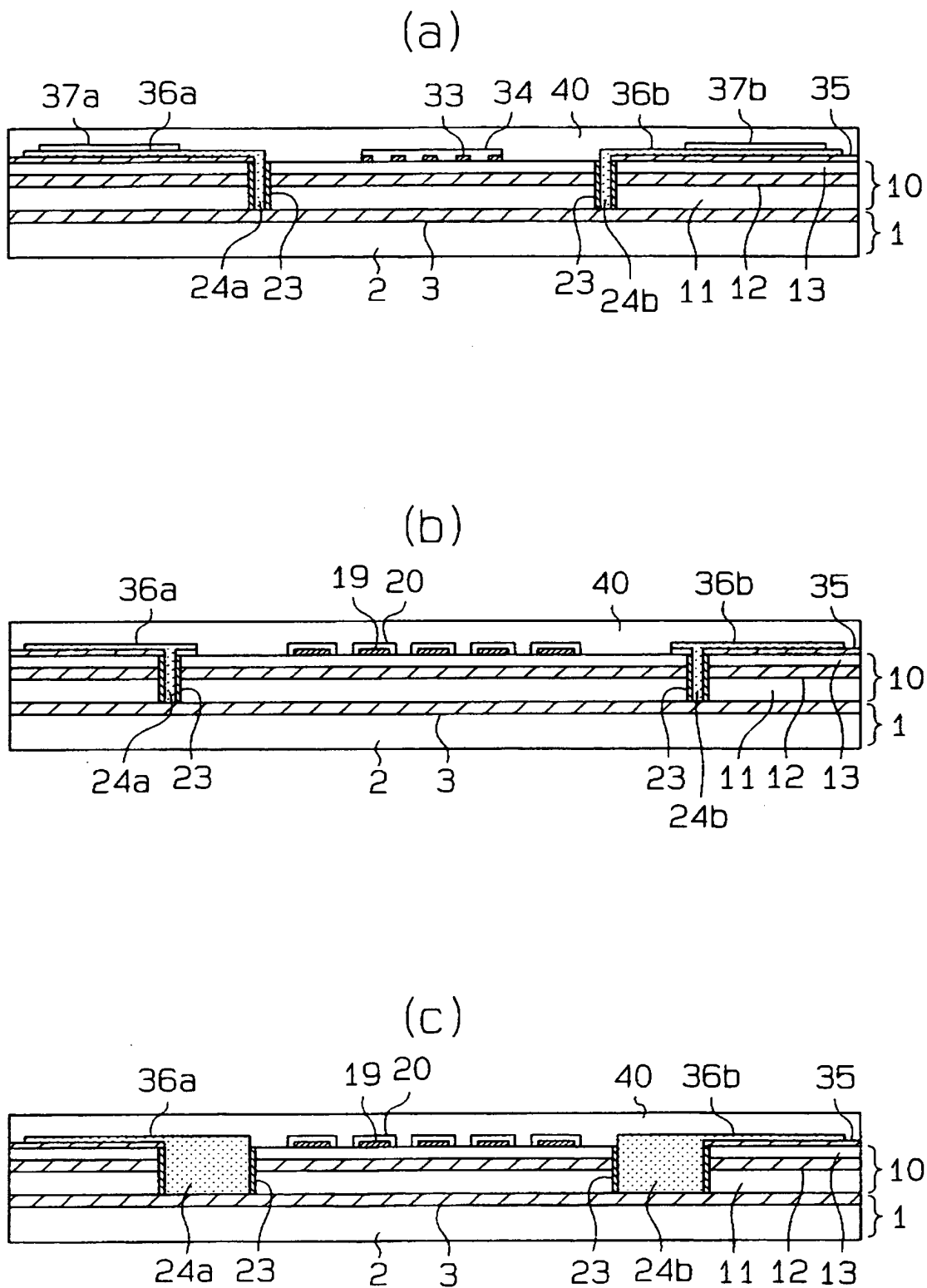
【図 14】



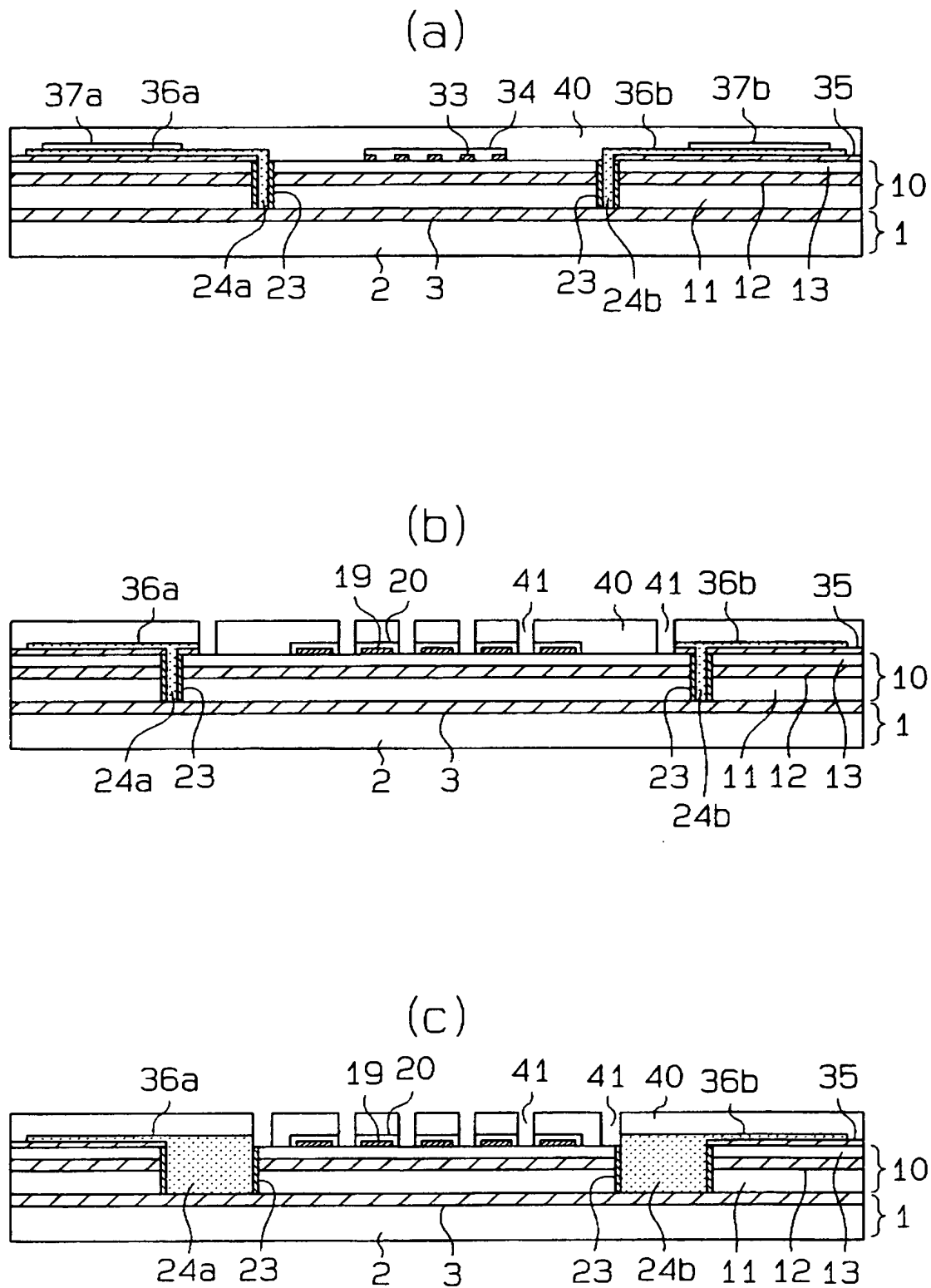
【図 15】



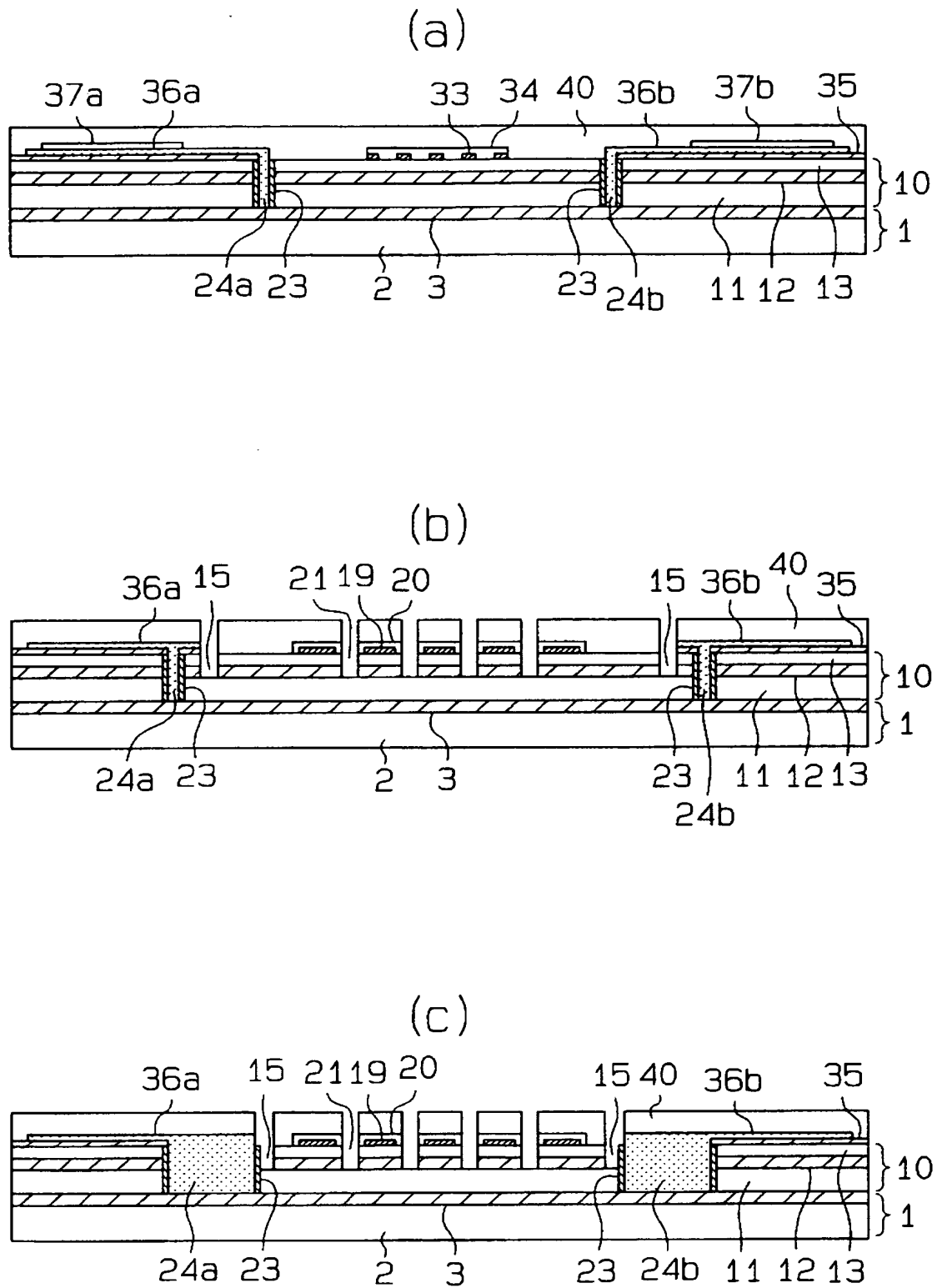
【図 16】



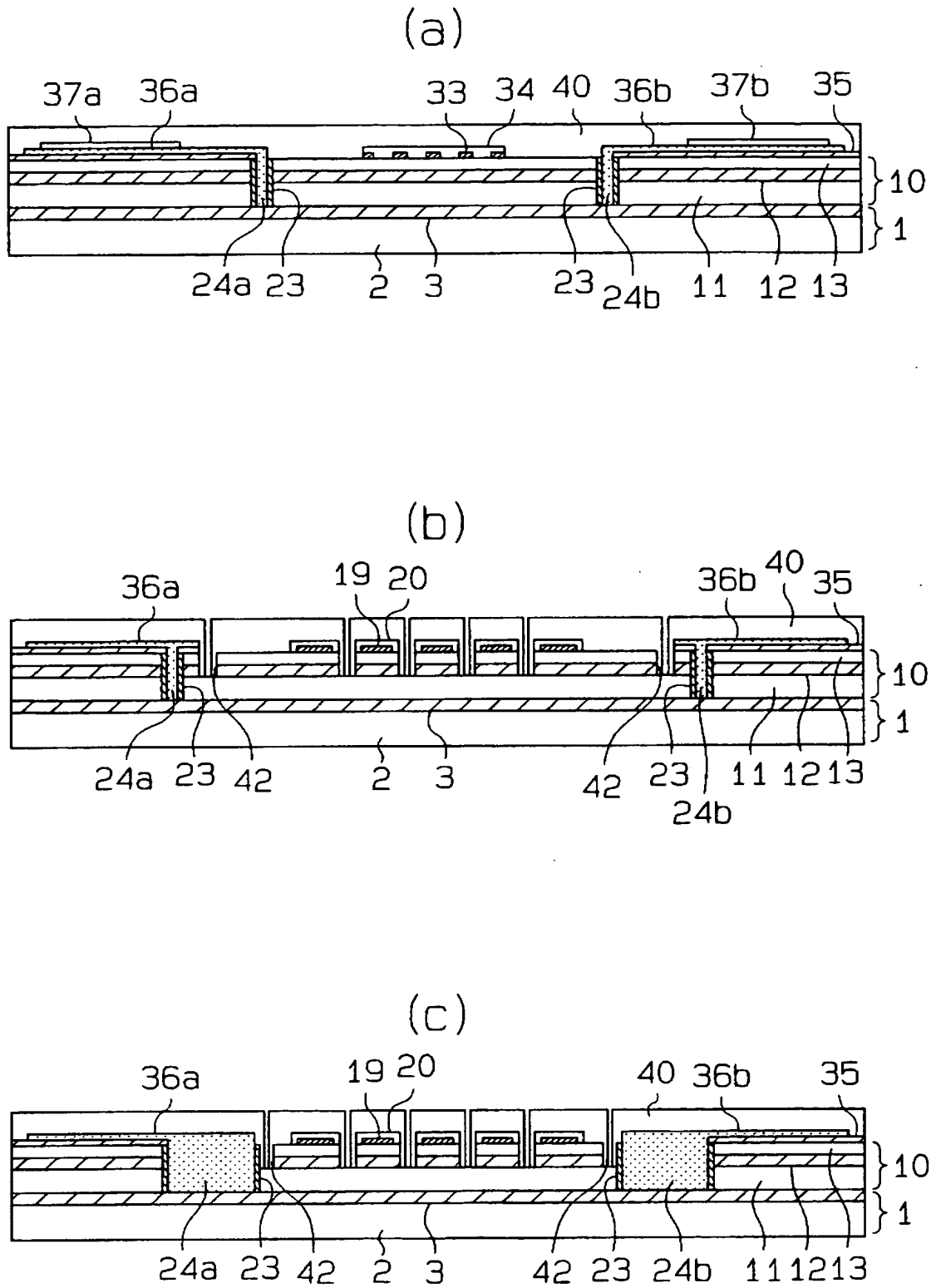
【図 17】



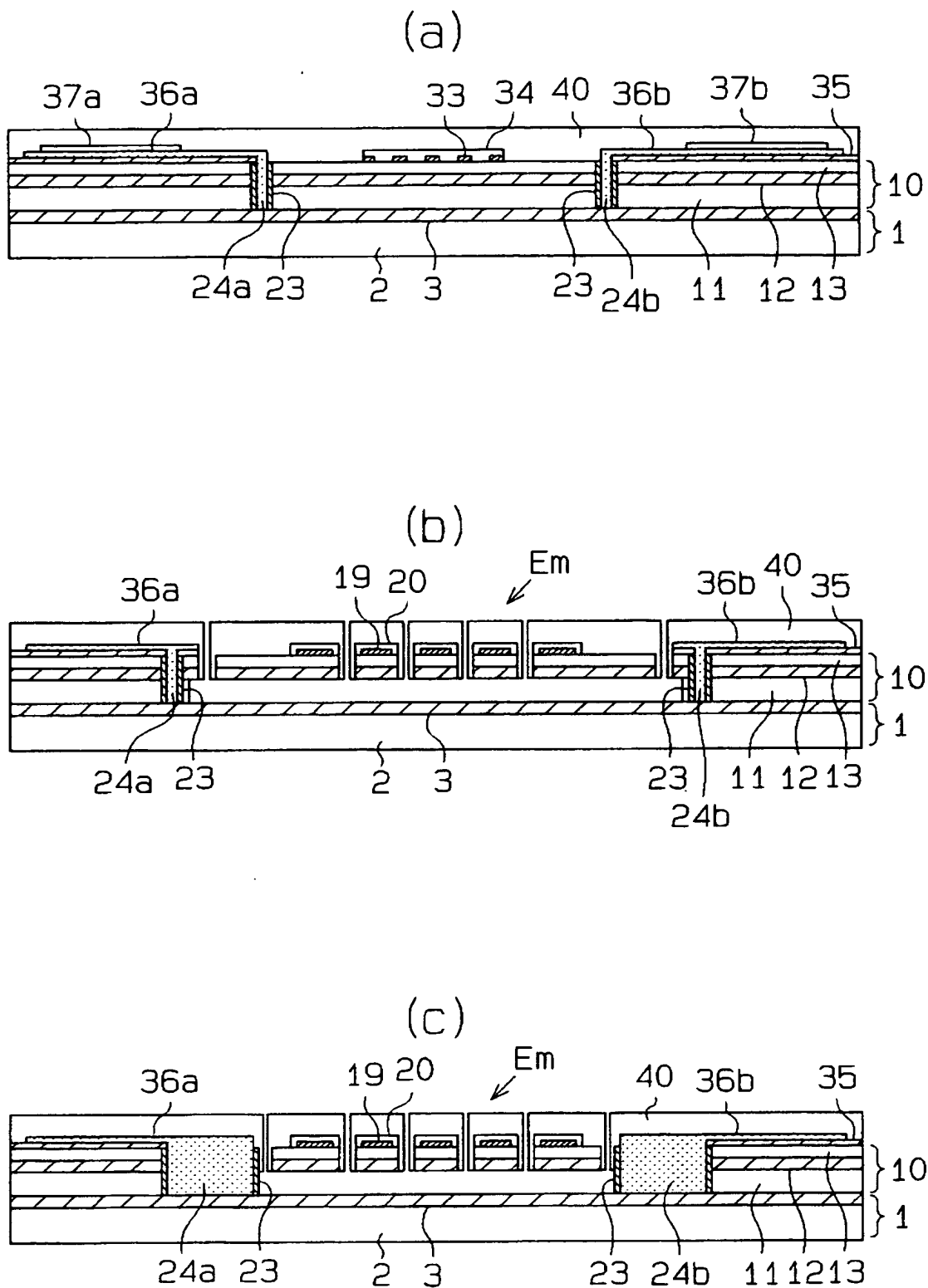
【図 18】



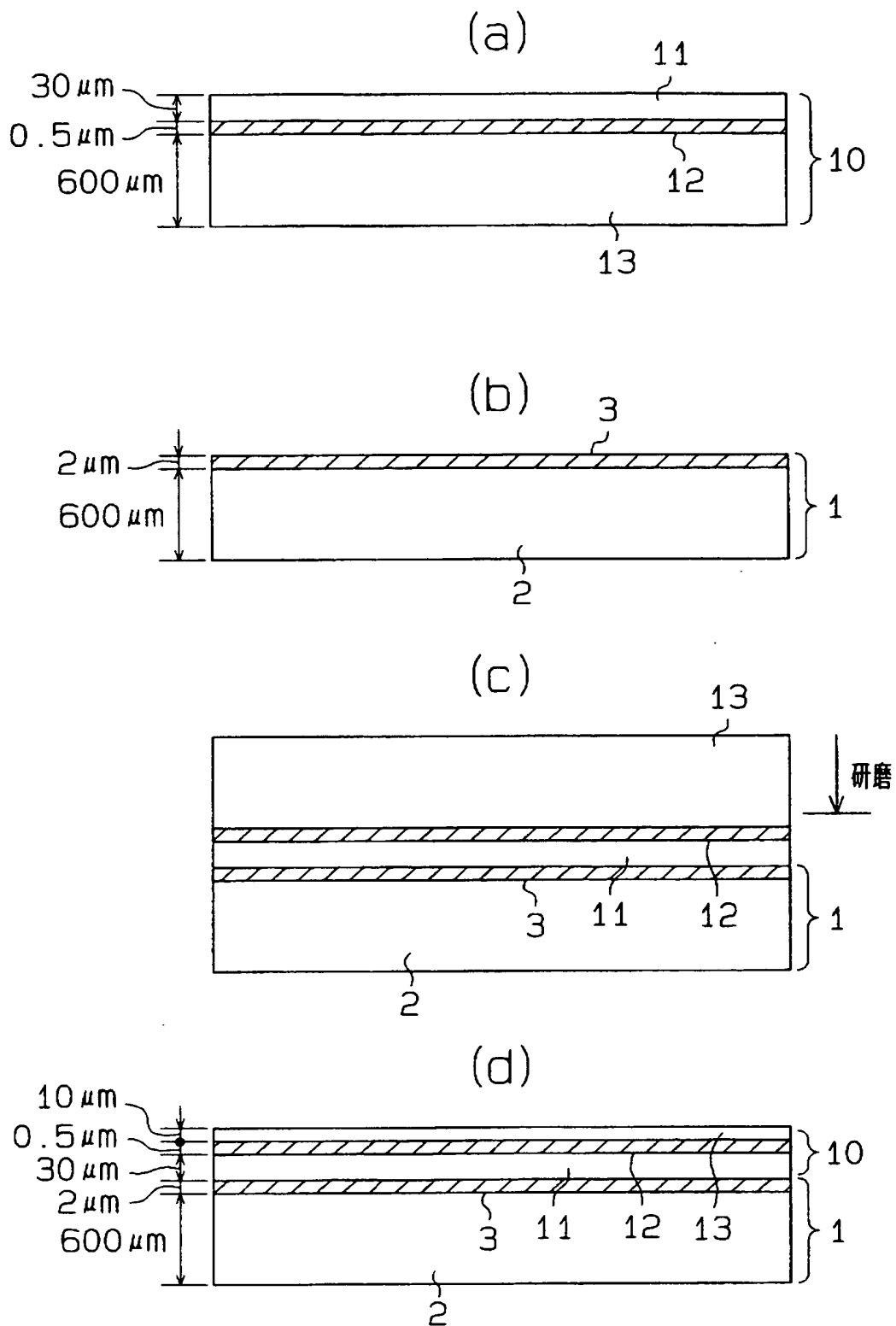
【図 19】



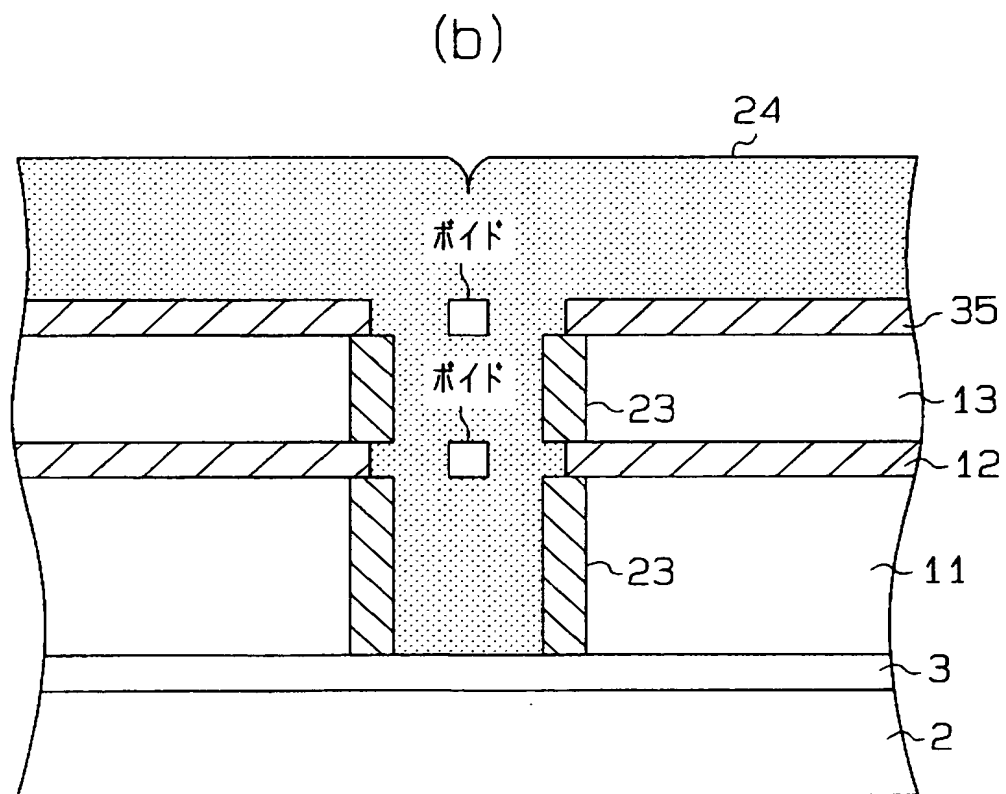
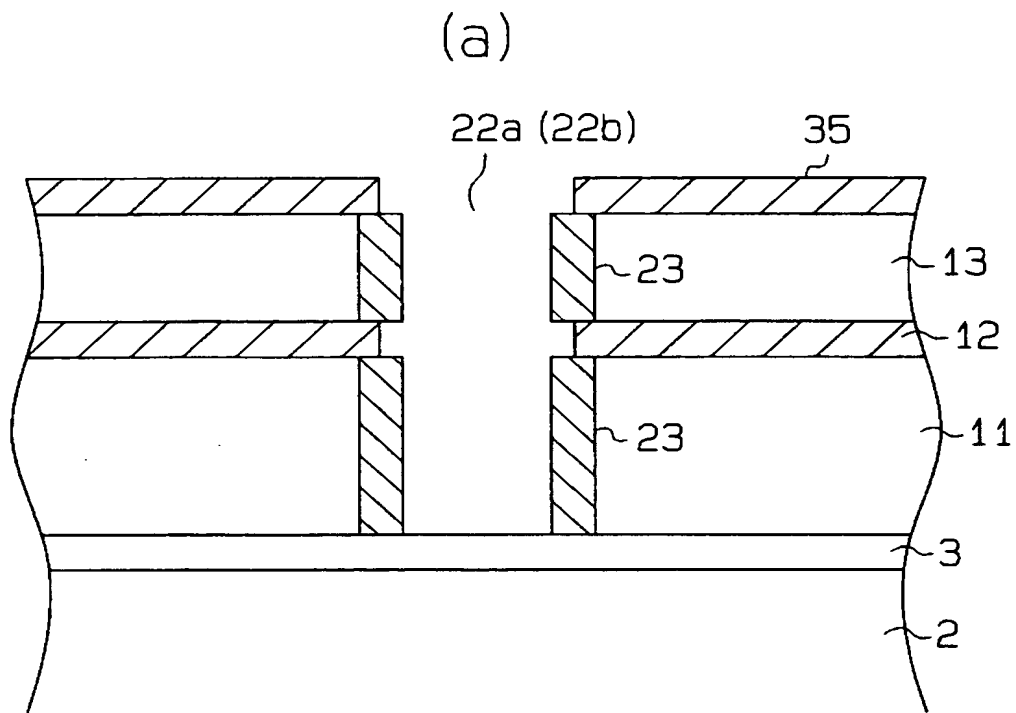
【図 20】



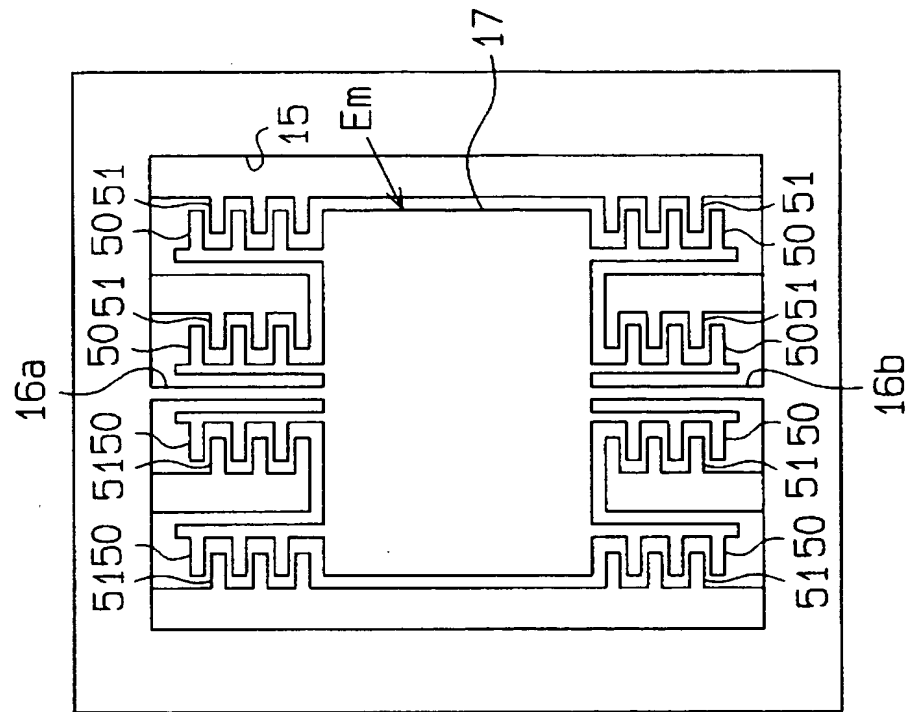
【図 21】



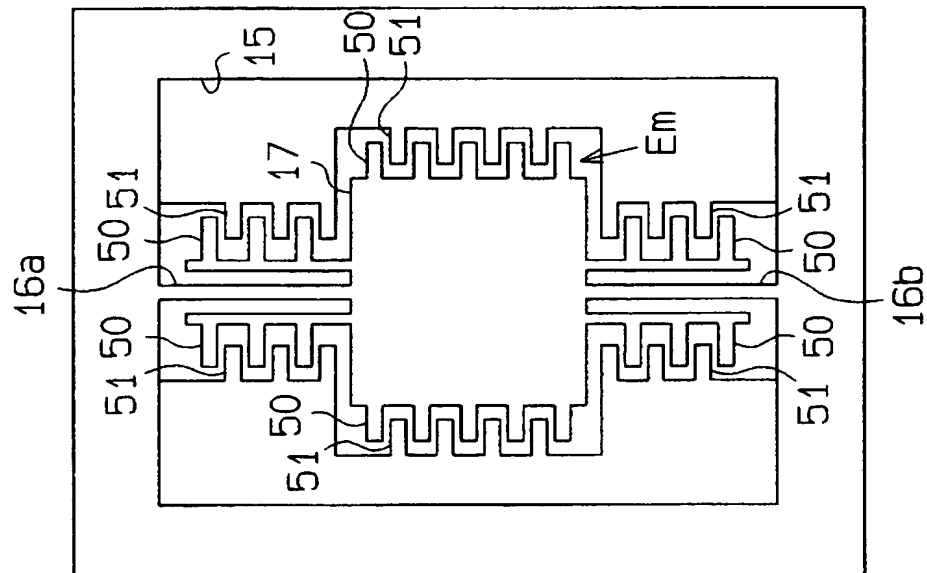
【図 22】



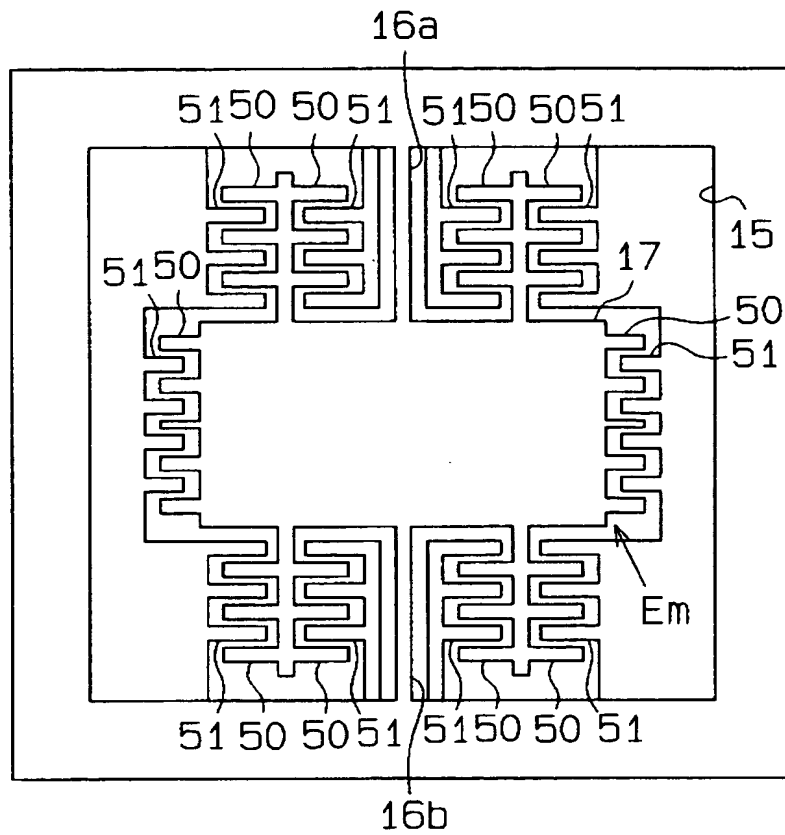
【図 2 3】



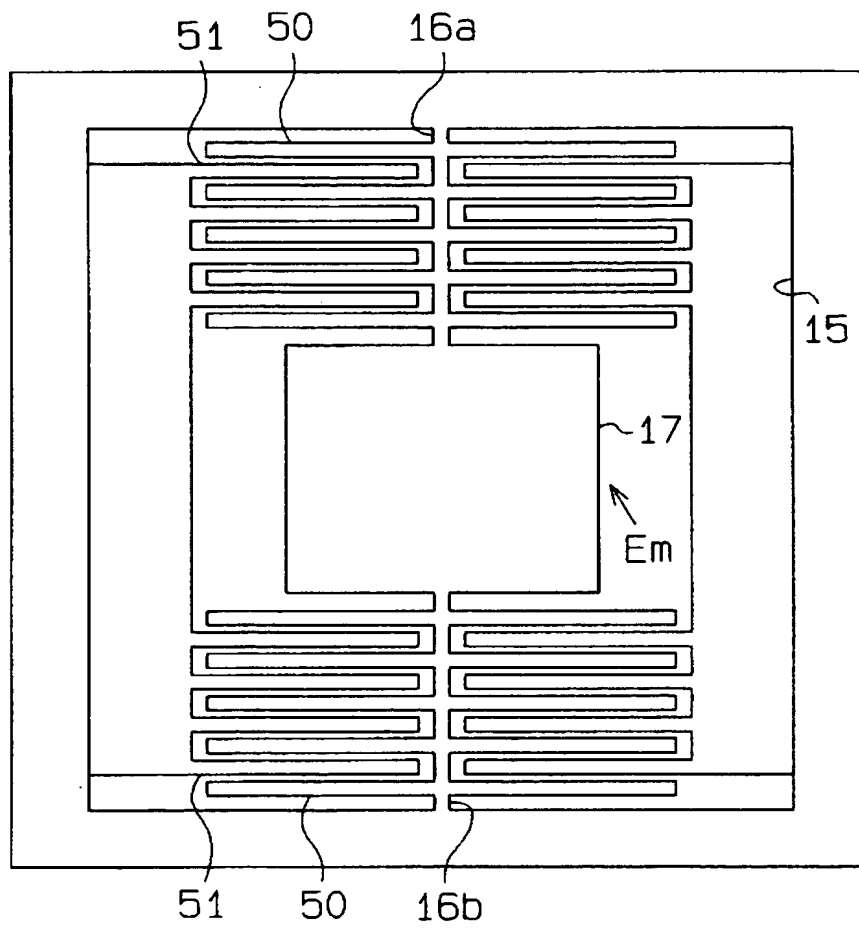
【図 2 4】



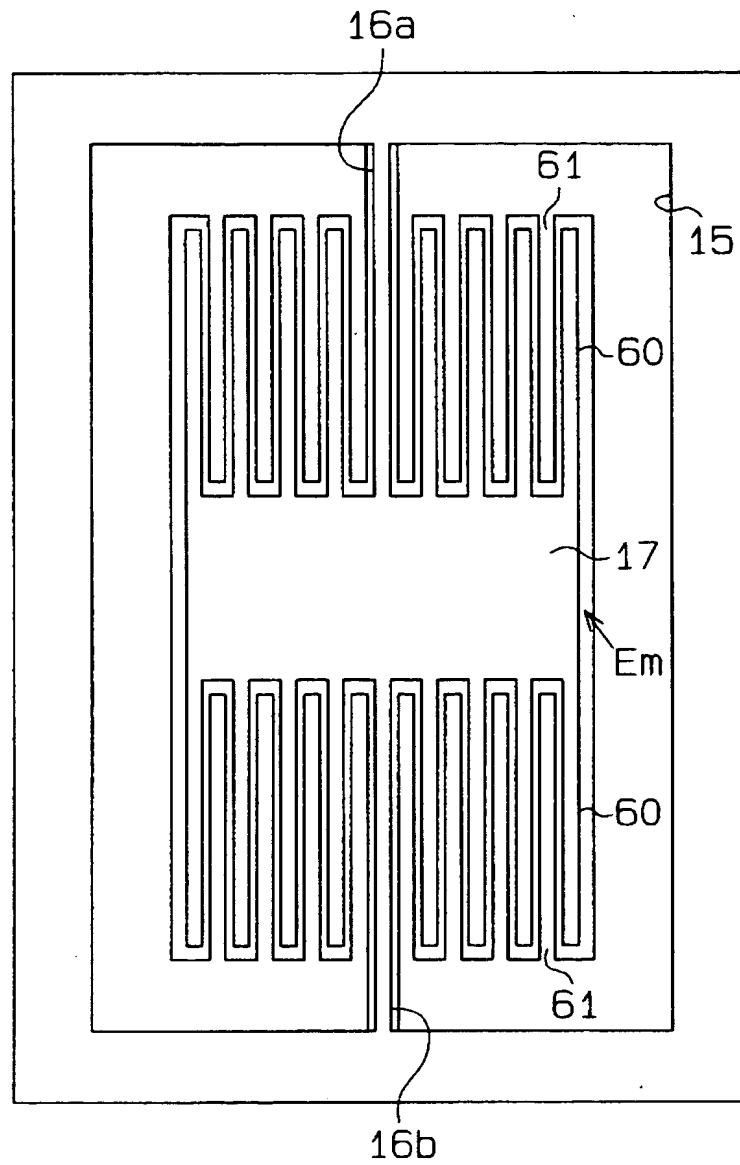
【図 25】



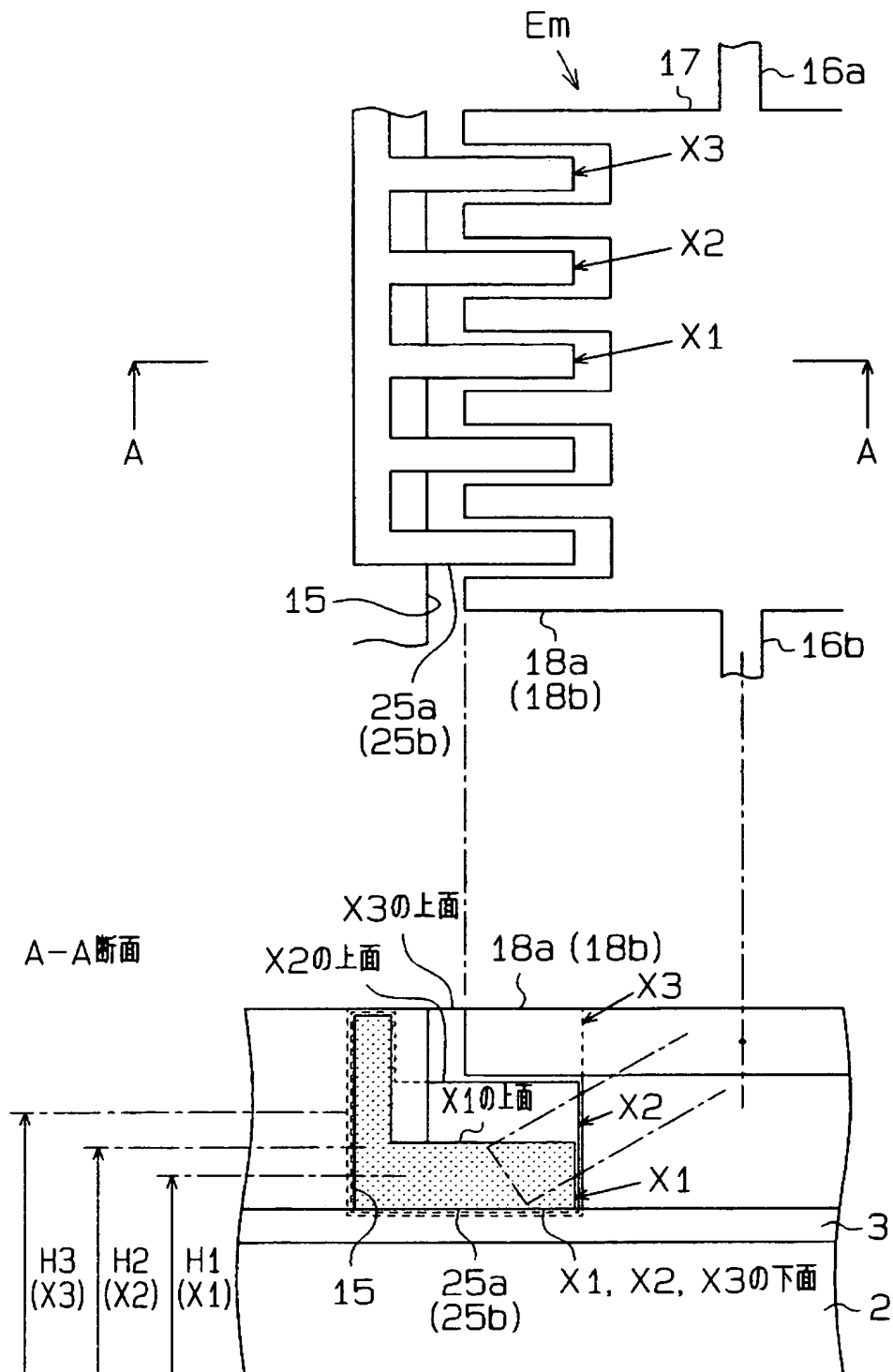
【図 26】



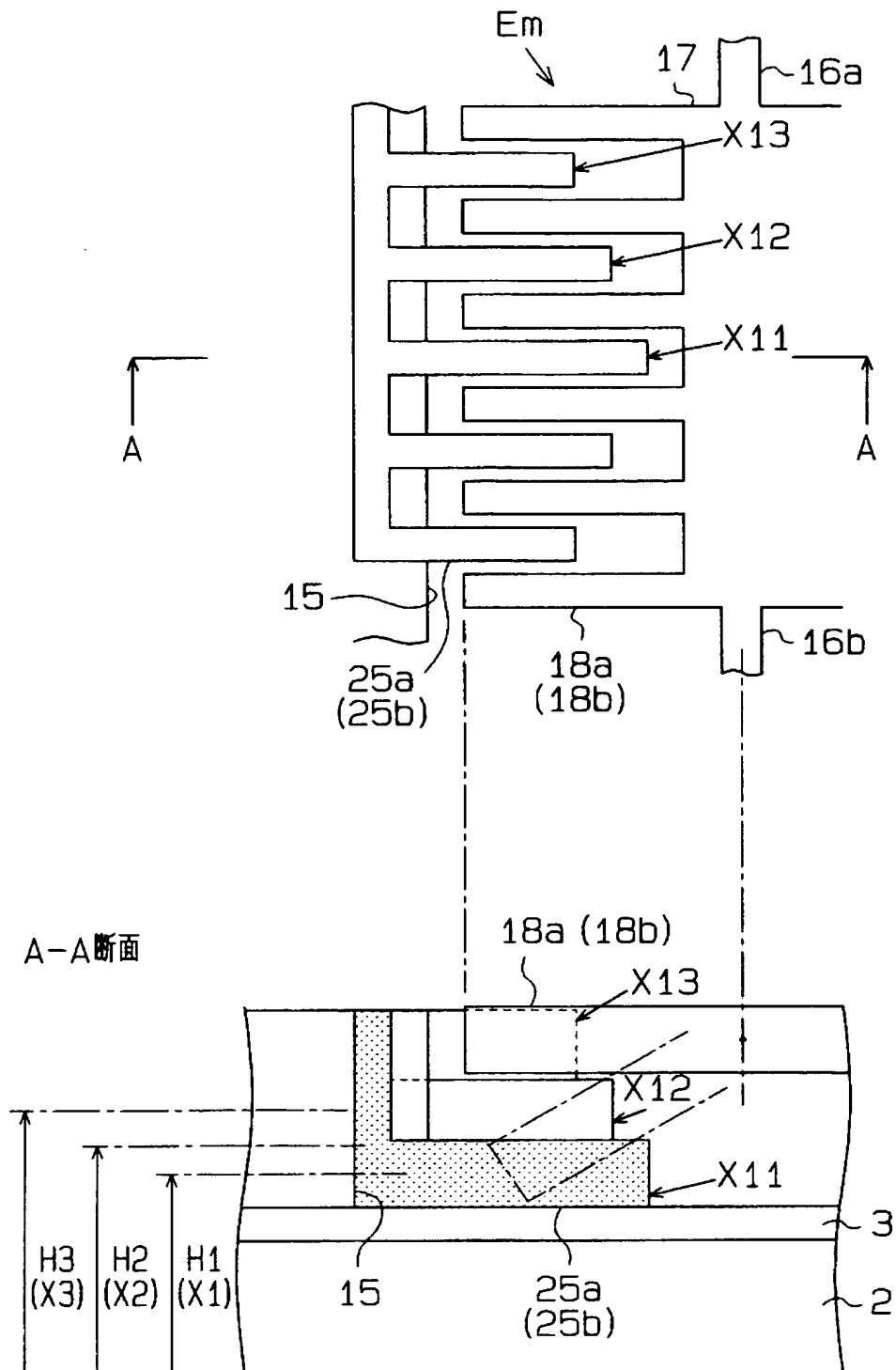
【図 27】



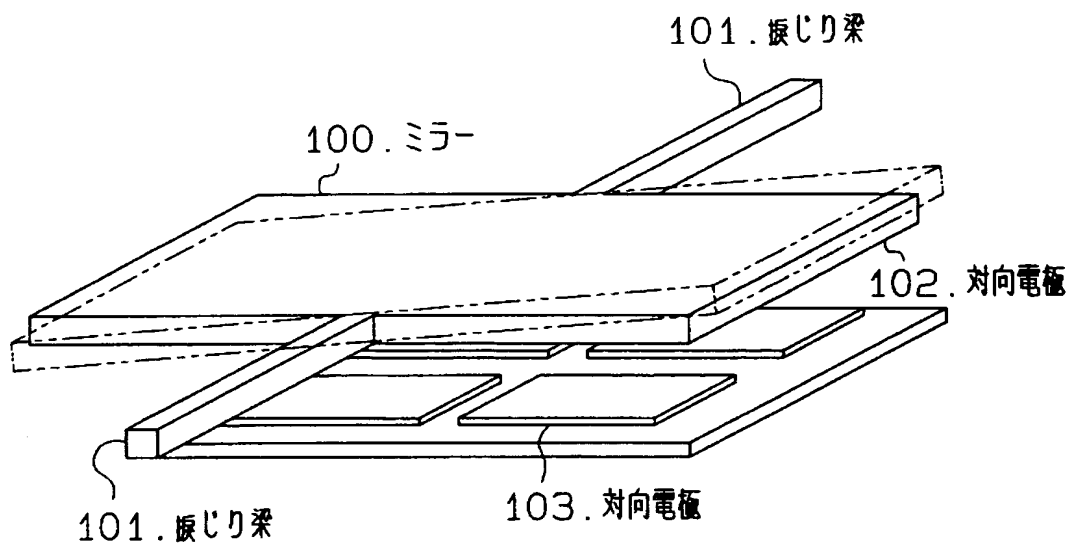
【圖 28】



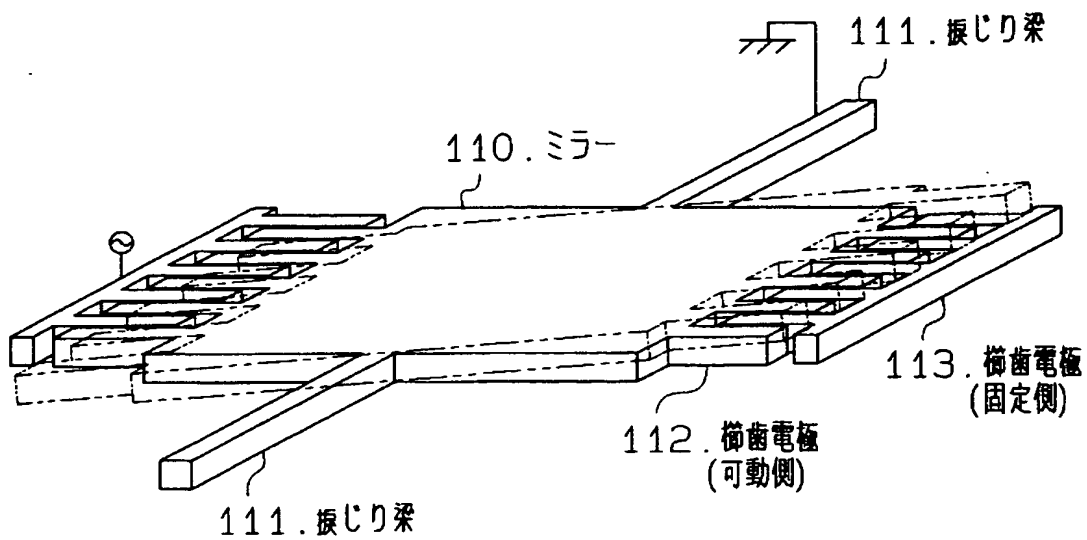
【図 29】



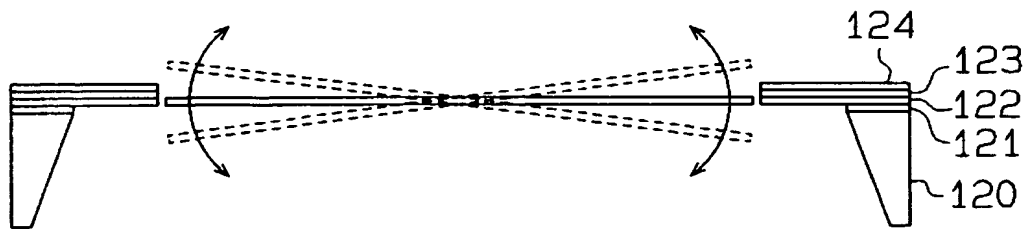
【図 30】



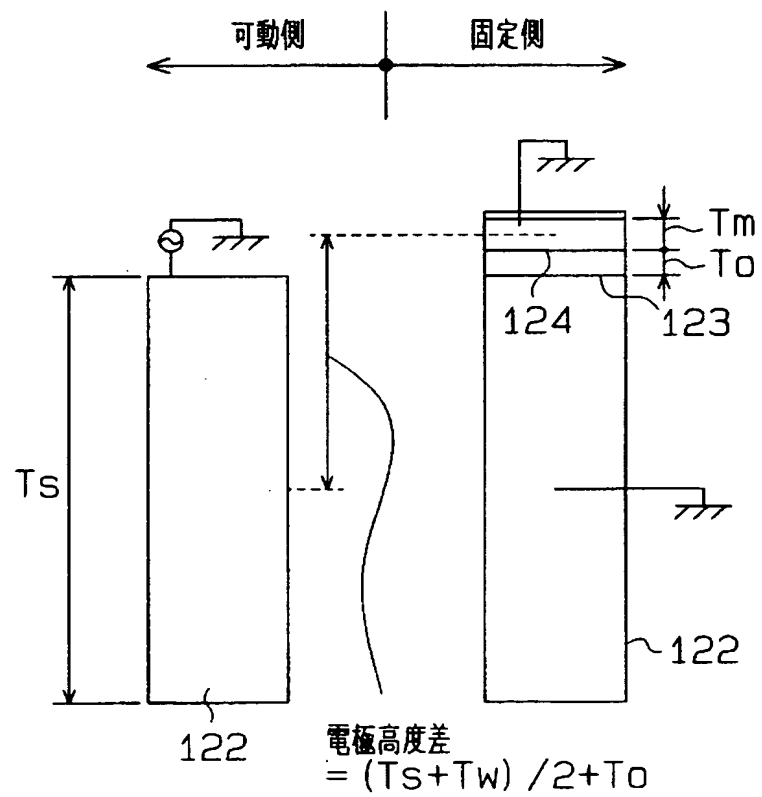
【図 31】



【図 3 2】



【図 3 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 可動構造体の揺動（振れ角）を大きくすることができる静電アクチュエータおよびその製造方法を提供する。

【解決手段】 シリコン基板 1 1 の上に埋込み酸化膜 1 2 を介して薄膜シリコン層 1 3 を形成した積層基板 1 0 を用い、薄膜シリコン層 1 3 により挟み梁構造の可動構造体 E m が構成され、この可動構造体 E m における可動側櫛歯電極と、可動側櫛歯電極に対向するように配置した固定側櫛歯電極 2 5 a, 2 5 b との間に電位差を生じさせて可動構造体 E m を揺動させる。積層基板 1 0 を貫通する貫通孔 1 5 の内部に固定側櫛歯電極 2 5 a, 2 5 b が形成されている。

【選択図】 図 4



特願 2 0 0 3 - 0 3 4 0 9 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 6 0]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 1 0 月 8 日

[変更理由]

名称変更

住 所

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地

氏 名

株式会社デンソー